

# Utilisations et Dangers des Radiations Ionisantes dans l'Industrie Pétrolière

---

## T H E S E

Pour le DOCTORAT EN MEDECINE

présentée et soutenue publiquement le 30 Juin 1973

par

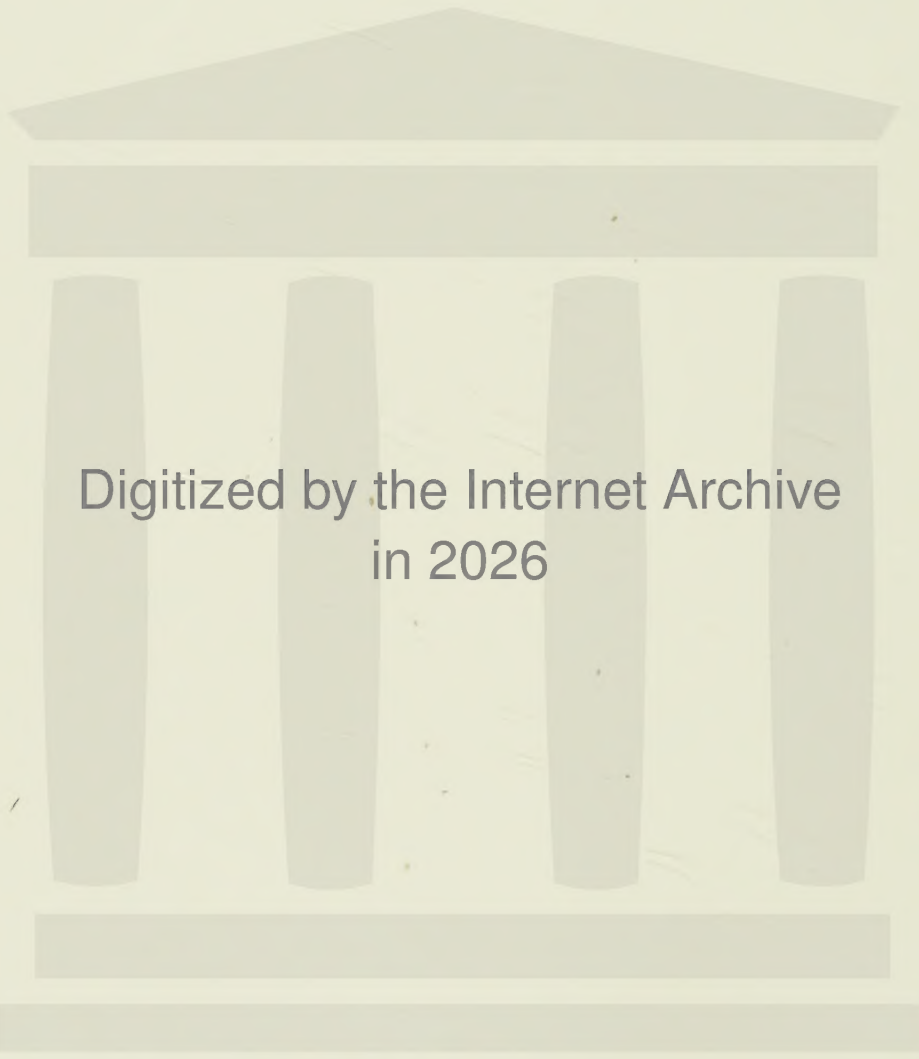
SEKFALI née HAINE Houria

Née le 15 Mars 1945 à JIJEL

---

### MEMBRES DU JURY :

|                                                                                             |   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------|
| MM. H. OLLIVIER, Professeur de Médecine Légale et de Médecine<br>du Travail . . . . .       | { | Président |
| M. ISMAIL DAHLOUK, Maître de Conférences Agrégé (Derma-<br>tologie Syphiligraphie . . . . . |   |           |
| L. MOKHTARI, Maître de Conférences Agrégé en Hygiène et<br>Hydrologie . . . . .             | { | Juges     |
| J. MONTILLIER, Maître Assistant de Médecine du Travail . . . .                              |   |           |



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41548213\\_0055](https://archive.org/details/IA41548213_0055)





# Utilisations et Dangers des Radiations Ionisantes dans l'Industrie Pétrolière

---

## THESE

Pour le DOCTORAT EN MEDECINE

présentée et soutenue publiquement le 30 Juin 1973

par

**SEKFALI née HAINE Houria**

Née le 15 Mars 1945 à IJEL

---

### MEMBRES DU JURY :

|                                                                                                     |   |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------|
| <b>MM. H. OLLIVIER</b> , Professeur de Médecine Légale et de Médecine<br>du Travail . . . . .       | } | <b>Président</b> |
| <b>M. ISMAIL DAHLOUK</b> , Maître de Conférences Agrégé (Derma-<br>tologie Syphiligraphie . . . . . |   |                  |
| <b>L. MOKHTARI</b> , Maître de Conférences Agrégé en Hygiène et<br>Hydrologie . . . . .             | } | <b>Juges</b>     |
| <b>J. MONTILLIER</b> , Maître Assistant de Médecine du Travail . . .                                |   |                  |

THÈSE

Pour le DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le 20 Juin 1973

PAR

SENTALL née HAUME Houria

Née le 15 Mars 1945 à Jijel



MEMBRES DU JURY :

Président

M. EL OLIVIER, Professeur de Médecine Légale et de Médecine  
du Travail

Juges

M. ISMAIL DANILOU, Maître de Conférences Agrégé (Dermatologie)  
et de Syphiligraphie

L. MONTAIGNE, Maître de Conférences Agrégé en Hygiène et  
Hygiène Industrielle

J. MONTILLER, Maître Assistant de Médecine du Travail

## S E R M E N T   D ' H I P P O C R A T E

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples et selon la tradition d'Hippocrate, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.



Je dédie cette thèse:

A MON PERE

A MA MERE

En signe de ma profonde et affectueuse  
reconnaissance pour tous les sacrifices qu'ils  
ont bien voulu consentir pour moi.

A MON MARI

avec toute ma tendresse

A MES ENFANTS

avec tout mon amour.



A MES FRERES ET SOEUR

avec mon affection la plus sincère

A MES ONCLES ET TANTES

A MA BELLE-FAMILLE

A MES COUSINS ET COUSINES

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS.



A notre Maître et Président de Thèse,

Monsieur le Professeur OLLIVIER

Qui nous a fait le très grand honneur  
d'accepter la présidence de notre thèse.

Qu'il veuille bien trouver ici le modeste  
hommage de notre profonde reconnaissance et de notre  
entier dévouement pour le précieux enseignement qu'il  
nous a donné et la bienveillante sympathie avec la-  
quelle il nous a accueillie.



Aux membres de notre Jury!

Monsieur le Professeur Agrégé ISMAIL-DAHLEUK

Nous le remercions vivement de l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de juger ce travail et le prions de croire à notre entier dévouement.

Nous lui demandons de trouver ici l'hommage de notre très vive et respectueuse reconnaissance.

Monsieur le Professeur MOKHTARI

Pour le grand honneur qu'il nous a fait en participant à notre jury de thèse.

Nous le prions de trouver ici l'assurance de notre respectueuse gratitude.



Monsieur le Docteur MONTILLIER,

Nous lui sommes profondément reconnaissante de l'aide précieuse qu'il nous a apportée pour l'élaboration de cette thèse et des encouragements prodigués dans l'exercice de la Médecine du Travail.

Nous le prions de trouver ici l'assurance de notre respectueuse gratitude.



A     Messieurs BENSMINA et DELCLAUD,

         Ingénieurs à la SONATRACH

A     Monsieur COLINET,

         de l'Institut d'Etudes Nucléaires Algérien

         Avec tous nos remerciements pour l'accueil  
bienveillant qu'ils nous ont réservé et pour l'ai-  
de qu'ils nous ont apportée, en mettant à notre  
disposition la documentation de leurs services.

A     Mesdames

         S. HANICHE, professeur d'Anglais

         et J. QUILES,

         Avec toute notre sympathie.

A     Monsieur OUABADI,

         Commissaire du Gouvernement de la Société de

         Médecine du Travail pour l'Algérie et le Sahara,

ainsi qu'à tout le personnel de cette Société

         Nous tenons également à remercier Monsieur  
OTHSMANE, du Laboratoire de Médecine Légale et  
de Médecine du Travail, pour l'aide matérielle.



PREMIERE PARTIE



## I N T R O D U C T I O N

La découverte des rayonnements ionisants était déjà d'importance; elle allait être à l'origine d'une découverte non moins grande, celle de la radio-activité artificielle.

Dans ce domaine, à partir de la deuxième guerre mondiale, la recherche scientifique céda le pas à l'utilisation pratique.

Les savants sont encore à la recherche d'une méthode de "fusion contrôlée" des noyaux de l'atome, pour l'exploitation à des fins pacifiques de l'énorme réserve d'énergie qu'il contient, mais d'ores et déjà les rayons ionisants sont utilisés dans différents domaines. En Médecine, c'est, entre autres, l'arme thérapeutique qu'est la curithérapie; mais aussi en Géologie, en Archéologie, dans l'Agriculture, dans l'Industrie, où les applications sont de plus en plus nombreuses.

L'objet de notre thèse sera d'étudier l'utilisation des rayons ionisants dans l'Industrie Pétrolière, d'en rappeler les dangers et préciser les consignes de prévention des accidents éventuels.

Avant d'aborder le sujet principal de notre travail, nous devons rappeler certaines notions concernant les différents rayonnements ionisants, leurs propriétés physiques et biologiques, les moyens de les détecter et de les mesurer. L'Industrie Pétrolière étant en Algérie la principale utilisatrice des rayonnements ionisants, nous avons volontairement limité notre Thèse à ce secteur d'activité.



## HISTORIQUE

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le physicien français BECQUEREL, effectuant des recherches sur la phosphorescence, constatait l'impression, par un sel d'uranium, de la couche sensible des plaques photographiques cependant enveloppées dans un papier noir, à l'abri de la lumière.

Ce n'était pas un phénomène de phosphorescence, mais bien l'action d'un rayonnement émis par l'uranium qui avait traversé le papier, rayonnement analogue aux rayons X individualisés peu de temps avant par le physicien allemand ROENTGEN.

Par la suite, Pierre et Marie CURIE découvraient d'autres éléments radio-actifs: le Thorium, le Radium, le Plutonium.

Les recherches ultérieures ont précisé les caractères du rayonnement radio-actif et la constitution intime de la matière permettant ainsi de découvrir que les "rayons" de BECQUEREL étaient en réalité de plusieurs sortes



## GENERALITES

On sait que la matière est formée d'atomes; elle est normalement stable ou tend à le devenir; le montage d'un atome = (protons + neutrons) et électrons repose sur un équilibre de particules matérielles et de forces régissant cette stabilité; ceci est la relation d'équivalence masse-énergie d'EINSTEIN.

C'est ainsi que toute la modification de cet équilibre survenant soit au niveau du noyau de l'atome; soit au sein du cortège électronique de l'atome, peut entraîner l'émission de deux sortes de rayonnements:

- Les rayonnements particuliers (particules  $\alpha$ ,  $\beta$ , neutrons)
- Les rayonnements électromagnétiques (rayonnements  $\gamma$ , X).

La radio-activité, naturelle ou artificielle, se réduit donc, en définitive, à un transfert d'énergie visant à redonner une stabilité nouvelle aux édifices constituant la matière.

### I. NATURE DES DIFFERENTS RAYONNEMENTS:

#### I-1- Le rayonnement $\alpha$ :

La particule  $\alpha$  est un noyau d'Hélium expulsé d'un noyau atomique lourd au cours de la transformation du noyau atomique.



Ce rayonnement est chargé positivement. Il est dévié par les champs magnétiques et électriques. Il perd rapidement son énergie en pénétrant dans la matière vivante et ceci sur un très court trajet. Ces particules  $\alpha$  heurtent les noyaux et les électrons des atomes de la matière pénétrée, au cours des chocs successifs qui aboutissent au ralentissement de la particule; celle-ci cède finalement toute son énergie et suffisamment pour chasser des électrons hors de leur orbite, créant ainsi des ions.

Le rayonnement  $\alpha$  est très peu pénétrant, mais très ionisant (300 000 paires d'ions par centimètre d'air parcouru).

#### I-2- Le rayonnement $\beta$ :

Il s'agit de l'émission par le noyau d'un flux d'électrons accompagnant la transformation d'une particule neutre du noyau (neutron) en particule chargée (proton), ou vice-versa. Ainsi, le noyau, en cherchant son équilibre, semble rejeter un trop plein d'énergie sous forme d'électrons de charge électrique contraire.

Il existe des rayonnements  $\beta$  négatifs (transformation du phosphore 32 en soufre 32) et positifs (transformation du sodium 22 en néon 22).

L'énergie des particules  $\beta$  est moindre que celle des  $\alpha$ . Ces particules cèdent moins rapidement leur énergie; leur pouvoir ionisant est également bien inférieur (150 paires d'ions par centimètre d'air).

Le rayonnement  $\beta$  est plus pénétrant et la zone concernée par l'ionisation est plus profonde.



L'énergie du rayonnement  $\gamma$  peut se transformer en rayonnement  $\beta$  ou X lorsque les particules sont puissamment ralenties au cours de leur passage près d'un noyau de la matière traversée (rayonnement de freinage).

### I-3- Les neutrons:

Ce sont des particules neutres du noyau atomique. Ils sont notamment libérés au cours de la fission d'un noyau lourd d'uranium (réacteurs atomiques).

Ils ne possèdent pas de charge électrique et ne peuvent être freinés que par leurs chocs contre les noyaux de la matière rencontrée.

Ils ont un très grande pouvoir de pénétration, au cours duquel ils seront parfois capturés par ce noyau qui sera lui-même tenu de se réarranger en émettant de nouveaux rayonnements particuliers ou électromagnétiques pour retrouver son équilibre.

### I-4- Le rayonnement $\gamma$ :

Il naît lorsqu'un noyau reçoit de l'énergie supplémentaire, en effet celui-ci étant excité tend à restituer le surplus d'énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique, émettant de petites quantités d'énergie ou photons, avant de retrouver son équilibre initial.

Les rayonnements  $\gamma$  ne sont pas déviés par le champ magnétique. Leur pouvoir ionisant est très faible: quelques paires d'ions par centimètre de parcours dans l'air. Leur pouvoir de pénétration est considérable. Plusieurs centimètres de plomb sont nécessaires pour atténuer leur intensité de façon sensible.



De nature électromagnétique comme la lumière et les rayons X, ils se déplacent à 300 000 km/s dans la matière.

#### I-5- Le rayonnement X:

C'est également un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde plus grande que le rayonnement

L'émission des rayonnements X résulte des déplacements des électrons de certains orbites sur d'autres orbites.

Les propriétés des rayonnements X sont analogues à celles des rayonnements  $\gamma$ .

Nous avons résumé ces données dans le tableau ci-joint:



| Rayonnements                                       | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | X   | Neutrons |
|----------------------------------------------------|----------|---------|----------|-----|----------|
| Particulaires                                      | +        | +       |          |     |          |
| Electro-<br>magnétiques                            |          |         | +        | +   |          |
| Pouvoir de<br>pénétration                          | +        | ++      | +++      | +++ | ++++     |
| Ionisation<br>directe<br>prédominante              | +        | +       |          |     |          |
| Ionisation<br>indirecte<br>prédominante            |          |         | +        | +   | +        |
| Pouvoir<br>d'ionisation<br>(facteur de<br>qualité) | 11-20    | 1       | 1        | X 1 | 1-10     |



## II. LES UNITES DE MESURE:

Nous rappelons brièvement les unités de mesure des rayonnements ionisants les plus couramment utilisées.

- Le Curie: unité de radioactivité; c'est le nombre de désintégrations par seconde.

- Le Roentgen (r): unité de dose d'exposition de rayons X ou  $\gamma$  en fonction de l'ionisation de l'air.

- Le flux particulaire: unité de rayonnement des neutrons exprimé en nombre de neutrons par  $\text{cm}^2$  et par seconde.

- Le Rad : unité d'énergie absorbée dans les tissus, quelle que soit la nature du rayonnement utilisé, il correspond à 100 ergs/gramme.

- Le Rem: unité d'efficacité biologique correspondante à la dose de rayonnement absorbé qui produit les mêmes résultats que l'absorption d'un Rad de Rayons X.

Ces unités de mesure nous permettront de chiffrer les doses admissibles ou durée d'exposition.

Malgré toutes les précautions, il n'est pas toujours possible d'obtenir l'absence d'une sécurité parfaite et d'éviter une irradiation.



### III. DOSES ADMISSIBLES

On a donc été amené à fixer les doses permises, dites doses admissibles ou doses maximales, c'est-à-dire la quantité de radiations que le corps humain peut tolérer sans dommage.

Les notions suivantes sont importantes:

- Pour une dose d'irradiation donnée, le temps mis pour recevoir cette dose a une grande importance.
- Une forte dose reçue en un temps très court, cause des lésions considérables dans l'organisme, pouvant dépasser de beaucoup les possibilités de réparations dont il dispose.
- Au contraire, la même dose, répartie dans une période suffisamment longue ne pourra produire que des lésions minimales et guérissables parfois au fur et à mesure.
- Une irradiation importante et rapide, dite irradiation aigüe est donc beaucoup plus nocive, que la même irradiation répartie sur un temps très long.

Le facteur temps entre aussi en jeu, en ce qui concerne l'irradiation due à la contamination interne.

En effet, le produit radio-actif perd de sa puissance suivant sa période radioactive propre.

D'autre part, l'organisme réussit à éliminer, par ses propres moyens, en fonction du temps, une partie de ces produits radio-actifs.

La combinaison de ces phénomènes conduit à accélérer la disparition de la radio activité dans l'organe critique. Cette disparition s'effectue avec une certaine



période  $T_c$ , dite période effective. Cela signifie que, au cours d'un temps égal à  $T_c$ , la moitié de la radioactivité présente dans l'organe critique a disparu.

Les doses et effets du rayonnement sur l'Homme sont indiqués dans le tableau ci-contre.

Les normes ont été élaborées au sein d'Organismes Internationaux et ont été publiées sous forme de recommandations.



Dans le cadre de la Protection Civile, les normes actuelles sont les suivantes:

- Temps de paix: on admet au cours d'une mission 25 Rems. Il s'agit d'une exposition unique, où la dose est absorbée en un court laps de temps, mais aucune autre dose ne doit être reçue pendant les deux mois suivants.

- Temps de guerre: on admet une dose maximale de 50 Rems. Il s'agit d'une exposition unique, qui peut amener une indisponibilité temporaire. Pendant un an, aucune autre dose n'est admissible.

Pour le personnel pendant le travail normal, les doses sont fixées comme suit:

- . dose annuelle maxima: 5 Rems
- . dose hebdomadaire maxima: 100 mRems
- . dose horaire maxima: 2,5 mRems.

Ces valeurs correspondent à un maximum d'intensité pour une exposition continue à raison de 40 à 48 heures par semaine. En exposition discontinue, ces niveaux de débit peuvent évidemment être dépassés à condition que la durée de séjour soit limitée et que la dose annuelle ne soit pas atteinte.

Il s'agit, pour toutes ces doses, de l'exposition totale du corps, car on admet des doses cinq fois plus élevées pour une exposition partielle.

Avant de décrire les effets biologiques des rayonnements ionisants, nous rappelons brièvement les **PRINCIPES PHYSIQUES**, qui les régissent.



## I - PRINCIPES PHYSIQUES:

I-1- Le rayonnement agit sur la matière par ionisation, par excitation de phénomènes photo-électriques, par effets sur les molécules, d'où la modification des matériaux.

I-2- La matière agit sur le rayonnement: elle absorbe ce rayonnement, suivant son coefficient d'absorption et son épaisseur.

C'est ainsi que l'on peut suivre le déplacement de certaines substances grâce au rayonnement d'un isotope radio-actif permettant ainsi la détection, la localisation et le repérage des corps marqués. Par exemple, on procède de cette façon pour connaître le métabolisme d'un élément dans un organisme, ou surveiller l'écoulement d'un fluide dans une canalisation.

## II - EFFETS BIOLOGIQUES

L'action des rayonnements sur la matière vivante correspond à un transfert d'énergie cinétique sur elle-même. Cette interaction peut schématiquement s'exprimer en effets primaires et en effets secondaires.

### II-1- Effets primaires:

II-1-1- On distingue les effets directs, physiques, très importants et de courte durée ( $10^{-11}$  à  $10^{-17}$  seconde).

- L'excitation: c'est un état passager qui confère à l'atome un niveau d'énergie supérieur au niveau initial.



Cette énergie de surcharge peut se déplacer sur une macromolécule et frapper certains points fragiles, provoquant une rupture de la chaîne moléculaire (possibilité de modification de la viscosité de dépolymérisation, etc...).

- L'ionisation: elle consiste en la formation d'ions par fractionnement d'atomes ou de molécules ou par addition ou soustraction d'électrons à ces mêmes édifices, laissant présager des réactions plus complexes.

#### II-1-2- Les effets indirects:

Ce sont des réactions chimiques succédant à l'ionisation. La radiolyse de l'eau, constituant principal des tissus, aboutit à la formation d'eau oxygénée, qui va réagir très facilement sur les molécules organiques pour donner des peroxydes et amorcer de nouvelles réactions. Il s'ensuit que l'efficacité biologique des rayonnements dépend de la teneur en  $O_2$  des tissus; donc un tissu en anorexie relative pourra être moins sensible qu'un tissu normalement oxygéné.

#### I-2- Les effets secondaires:

Ils sont surtout biologiques, et se caractérisent par des désordres structuraux ou fonctionnels. Leur période peut aller de 1 heure à 30 ans ou plus. Ils dépendent de la dose d'irradiation et du débit de cette dose.

II-2-1- Les réactions biochimiques: elles sont nombreuses; il s'agit de la désamination oxydative des amino-acides, décarboxylation des acides organiques, oxydation des composés



- 13 -

sulfidrylés, dégradation du glucose.

Elles portent sur les acides nucléiques, les protéines, les amino-acides et les polysaccharides.

UII-2-2- Les effets cellulaires: On distingue les effets morphologiques et les effets fonctionnels:

- Les effets morphologiques: les mitochondries sont déjà particulièrement sensibles, le noyau l'est encore plus. Les altérations portent sur les nucléoles et sur les chromosomes.

- Les effets fonctionnels: ils entravent surtout les synthèses de l'acide désoxyribonucléique et de l'acide ribonucléique des protéines, des anticorps, ainsi que de l'activité enzymatique. La mort cellulaire peut suivre.

Rappelons la loi de BERGONIE et TRIBONDEAU (1906). Cette loi objective la sensibilité cellulaire particulièrement importante en radiologie: "Un tissu est d'autant plus radio-sensible que l'activité mitotique de ses cellules est plus élevée".

### III - LES EFFETS SOMATIQUES:

Ces effets n'atteignent que l'individu même et s'éteignent avec lui. Ils peuvent être nuls, alors que les effets génétiques pourront être très importants.

Ces effets somatiques sont liés à la radio-sensibilité particulière de certains tissus:



. La peau est atteinte, aussi bien au niveau de l'épiderme que du derme (érythème, épilation, nécrose et, plus tardivement, cancer cutané).

. L'appareil hématopoïétique est lésé dans les seules cellules immatures, qui sont très radio-sensibles: les cellules circulantes le sont beaucoup moins. Lorsqu'il y a destruction de cellules apparaissent des signes de leucopénie ou d'anémie. Lorsqu'il y a destruction de structure conditionnant le rythme de la division cellulaire, il peut apparaître une prolifération **anormale** des leucocytes pouvant aller jusqu'à la leucémie.

. Les muqueuses, en particulier celles du tube digestif, sont très souvent atteintes, pouvant provoquer ulcérations et perforations intestinales. Les troubles digestifs font partie du syndrome de l'irradiation globale aiguë.

. Les poumons sont sensibles aux irradiations. In situ, les émetteurs  $\alpha$  peuvent occasionner des cancers pulmonaires.

. Les os irradiés par des émetteurs  $\alpha$  et  $\beta$  peuvent être le siège de sarcomes, et la moëlle osseuse présenter de graves lésions.

. Des cataractes ont été décelées après plus ou moins longue échéance pour des doses élevées de rayonnement ou X ou de neutrons.

. Les gonades peuvent être atteintes dans leurs deux fonctions: la fonction de reproduction, par des doses très faibles de rayonnements (les spermatogonies sont très sensibles) et la fonction endocrine par des doses beaucoup plus élevées (les cellules interstitielles étant très peu radiosensibles).



215

: Enfin les cellules nerveuses sont également sensibles à l'action des rayonnement ionisants.

#### IV. EFFETS GENETIQUES

Ils se manifestent généralement dans la descendance des personnes irradiées. Ils proviennent de l'altération chromosomique de cellules germinales des parents, due à l'attaque chimique de l'acide désoxyribonucléique éminemment sensible, en raison de sa structure caténaire.

Comme nous pouvons le constater, les effets produits par les rayonnements ionisants sur la matière vivante peuvent être très divers et polymorphes. En aucun cas ils ne sont spécifiques d'un agent causal.

D'autre part, il existe certains caractères généraux des troubles engendrés par les rayonnements ionisants.

Les lésions n'apparaissent pas immédiatement; il s'écoule toujours un certain temps entre l'irradiation et l'apparition des troubles; par exemple, une cataracte peut survenir au bout de plusieurs années et un cancer après plusieurs dizaines d'années.

Ces mêmes lésions présentent souvent des signes de réversibilité qu'il faut connaître, surtout pour des doses faibles, et en rapport avec les phénomènes de restauration mis en oeuvre par les cellules ou tissus épargnés.



Mais si des désordres sanguins peuvent disparaître, certaines lésions comme la nécrose ou les cancers s'avèrent irréversibles dans leur évolution.

Enfin, comme nous le savons déjà, la plupart des lésions somatiques semblent apparaître à partir d'un certain seuil, c'est-à-dire dès qu'une certaine dose de rayonnement a été reçue par l'organisme irradié.

Contrairement aux effets somatiques, les effets génétiques ne semblent pas répondre à ce facteur, les causes de leur apparition appelant des observations statistiques importantes.

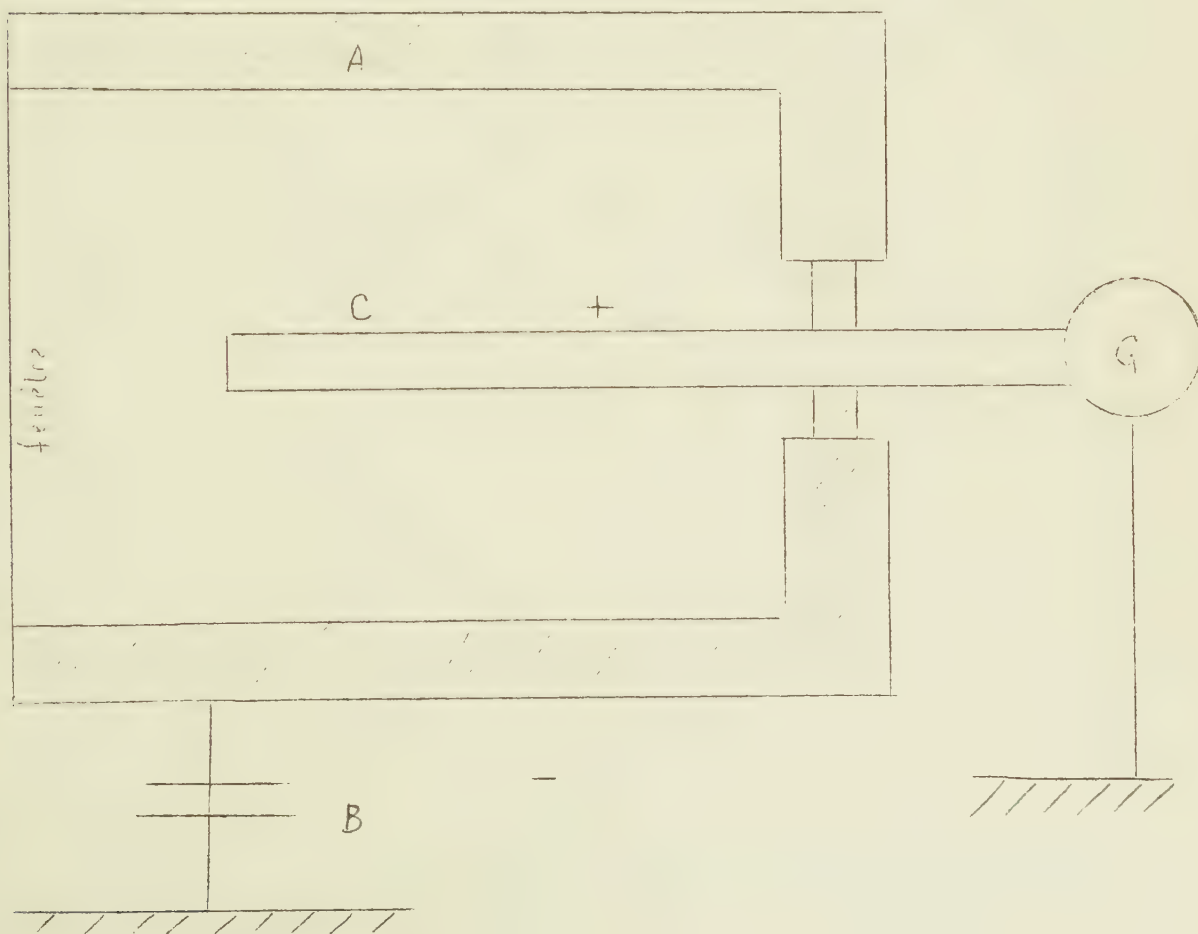


## LA DETECTION DES RAYONNEMENTS

Il existe plusieurs méthodes permettant d'assurer la détection et de mesurer l'intensité des rayonnements. Ce sont:

- . la chambre d'ionisation pour les rayons  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,
- . la scintillation pour les rayons  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,
- . la fluorescence
- . la dosimétrie photographique.

### I. CHAMBRE D'IONISATION





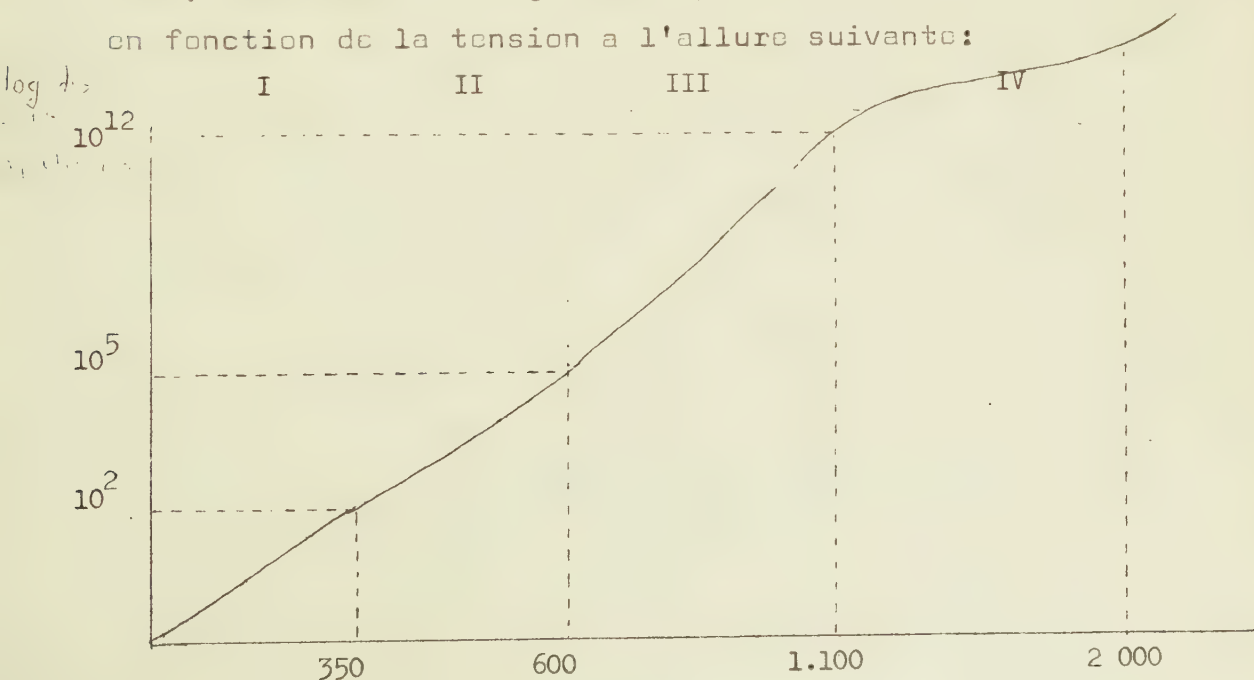
La chambre d'ionisation est essentiellement constituée par un cylindre métallique formé A, dans lequel est placée une électrode centrale C, isolée de A, reliée à un appareil de mesure G et portée à un potentiel positif. Le cylindre est à un potentiel négatif grâce à une batterie B (voir schéma). Si un flux d'électrons  $\beta$  pénètre dans la chambre, chaque électron perd son énergie le long de la trajectoire; l'air est ionisé car l'électron a créé N paires d'ions primaires. Si son énergie est E et  $\Sigma$  son énergie nécessaire pour créer une paire d'électrons, le nombre de paires créées sera:

$$N = \frac{E}{\Sigma}$$

Ces ions sont recueillis sur l'électrode et les parois; l'appareil de mesure indique un courant directement proportionnel à E, coefficient de proportionnalité égal à 1.

La chambre d'ionisation fonctionne ainsi lorsque la tension de l'électrode est faible (jusqu'à 300 volts): c'est le régime "chambre d'ionisation".

Si l'on augmente progressivement la tension, la courbe des log. des impulsions ou log des courants en fonction de la tension a l'allure suivante:





Pour des valeurs de tension supérieure, on a d'abord, de 350 à 600 volts, la zone II, dite région du compteur proportionnel. Le nombre d'électrons ou d'ions est proportionnel à l'intensité du faisceau, mais le coefficient n'est plus 1.

On a ensuite la zone III, de 600 à 1 100 volts, dite zone de proportionnalité limitée.

Enfin <sup>dans</sup> la zone IV apparaît un palier; c'est la région "Geiger-Müller".

Ces phénomènes s'expliquent ainsi:

- Dans la zone II, le champ électrique au voisinage du fil est assez intense pour communiquer aux électrons, dont la masse est très faible, une vitesse telle qu'ils ionisent à leur tour les atomes du gaz de remplissage. Si chaque électron crée à son tour  $M$  autres électrons,  $N$  électrons créent ce qu'on appelle une "avalanche" de  $N M$  électrons. Dans cette zone,  $N M$  est proportionnel à  $E$ .

- Dans la zone III et IV, les  $N M$  électrons obtenus peuvent être dans un état excité si l'énergie des électrons qui les ont créés est grande, c'est-à-dire si le champ électrique créé par la différence de potentiel entre les électrodes est grand. Ils retournent à leur état fondamental en émettant des photons qui peuvent arracher des électrons à la cathode par effet photoélectrique.

Si on augmente encore la tension, il se forme une gaine d'ions autour de l'anode, la décharge s'arrête.

Le compteur "Geiger-Müller" est d'un emploi très courant (Babylog, Babyline ....).



Si le rayonnement à mesurer contient à la fois des  $\alpha$  et des  $\gamma$ , on fait une mesure globale, puis, avec un cache sur la fenêtre, on arrête les  $\alpha$  et l'on ne mesure plus que les  $\gamma$ ; on obtient ainsi les  $\beta$  par différence.

## II. SCINTILLATION:

Certains corps, tel l'iodure de sodium, ont la propriété de transformer en lumière le rayonnement qui les frappe; on a donc là un moyen de détecter ce rayonnement.

En pratique, le problème consiste à amplifier le rayon lumineux, de façon qu'il soit détectable. On y parvient en utilisant une photocathode et un photomultiplicateur (voir schéma).



La photocathode (sel de césium), excitée par les photons lumineux, émet des électrons et les envoie sur une série de plaques (dynodes) portées, ainsi que la photocathode, à un potentiel de 100 volts environ, chacune renvoyant plusieurs électrons pour un reçu.



Le coefficient multiplicateur pour l'ensemble du tube est de l'ordre de  $10^5$  à  $10^6$ , mais le courant produit doit être encore amplifié pour être mesurable.

Tous les rayonnements peuvent être mesurés ainsi, en particulier les  $\gamma$ .

### III - FLUORESCENCE:

Certains verres soumis à une fluorescence dans les parties du spectre ultra-violet émettent dans le jaune une raie proportionnelle à la dose absorbée.

### IV - DOSIMETRIE PHOTOGRAPHIQUE:

Un film sensible soumis à un rayonnement subit un noircissement d'autant plus accentué que le rayonnement est plus intense.

Il suffit donc d'étalonner le film, et, par un jeu d'écrans arrêtant certains rayonnements, on peut combiner un dosimètre susceptible de détecter qualitativement et de doser tous les rayonnements que l'on peut recevoir:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , neutrons lents, neutrons rapides.

Cette méthode est utilisée pratiquement pour le contrôle des radiations auxquelles le personnel peut être soumis.



## DEUXIEME PARTIE

PRINCIPALES UTILISATIONS DES RAYONNEMENTS IONISANTS  
DANS LE MONDE INDUSTRIEL ET  
PLUS PARTICULIEREMENT DANS L' INDUSTRIE DU PETROLE



## I - PRINCIPALES UTILISATIONS DES RAYONNEMENTS IONISANTS

L'utilisation des radio-éléments dans certaines applications industrielles est déjà ancienne et, peu après la découverte du radium, on a commencé à utiliser cet élément pour effectuer des examens radiographiques et pour fabriquer des peintures luminescentes. Très rapidement d'ailleurs, ces utilisations se rendirent tristement célèbres dans les annales de la médecine professionnelle, en raison des accidents provoqués par la méconnaissance des risques, et notamment des risques de contamination.

C'est l'affaire "TRICHO", par exemple, qui s'est passée aux U.S.A., en 1920, où les rayons X étaient utilisés pour l'épilation. Le responsable, le Docteur GENSER, prétendait que sa méthode était sûre, parce qu'il employait de faibles doses, réparties sur une longue période. Cependant, au bout de quelques années, les dermatologistes observèrent des radio-dermites, des ulcérations douloureuses, des cancers cutanés. Des milliers de personnes furent atteintes.

L'Association Médicale Américaine demanda, en obtint en 1929, l'interdiction de telles pratiques.

A la suite de la découverte de la radio-activité artificielle et du développement de l'énergie nucléaire, l'utilisation industrielle des radio-éléments a pris un développement considérable; elle constitue actuellement le secteur le plus intéressant des applications pacifiques de l'énergie nucléaire.



Ce développement se justifie par les possibilités énormes qu'apportent les radio-éléments comme moyen d'études et de contrôle. Il faut cependant bien connaître les dangers et les moyens de les prévenir.

Les travaux exposant aux rayonnements ionisants sont nombreux et variés; en conséquence, les risques et dangers encourus par les travailleurs ne doivent pas être méconnus.

Trois groupes d'utilisateurs de rayonnements ionisants sont intéressés:

- Le premier groupe englobe les agents d'établissements généralement importants, tels:

- . les mines d'uranium,
- . les usines de traitement de minerais d'uranium,
- . les réacteurs ou piles atomiques et leurs annexes des centres de recherches, des usines de production de plutonium, des centrales productrices d'électricité....

En bref, il s'agit d'établissements axés, pour la plupart, sur la production soit de l'énergie, soit des radio-éléments utilisables.

Cette production comporte évidemment des servitudes annexes transport, stockage des déchets, etc...)

- Le deuxième groupe intéresse les agents utilisant les rayonnements ionisants émis par des radio-éléments, mais dans des disciplines très diverses: dans l'Industrie, en Biologie et Biochimie, en Médecine, en Agronomie.

C'est ce groupe qui nous intéresse tout particulièrement.



## I-1- Dans l'Industrie:

Les utilisations des rayonnements ionisants se répartissent de la façon suivante:

I-1-1- Les jauges d'épaisseur, de densité, de niveau, d'humidité et dispositifs spéciaux pour vérifier la vitesse ou la position d'un modèle. Par exemple: contrôle de niveau au cours des remplissages de bouteilles de gaz combustibles, ou contrôle d'épaisseur dans le plasticage des toiles cirées. Ces techniques, qui relèvent essentiellement des propriétés de pénétration des rayonnements ionisants, représentent la moitié de l'ensemble des applications.

### I-1-2- La Gammagraphie:

Cette technique permet de vérifier la structure interne d'un objet compact au moyen d'une source de rayonnement (cobalt 60, par exemple).

En effet, une pièce de métal placée sur le trajet d'un faisceau de rayons  $\gamma$  arrête une partie du rayonnement; et, si l'on dispose un film photographique en arrière de la pièce, celui-ci est uniformément noirci.

La présence d'un défaut dans le métal (bulle d'air par exemple, faille) modifie le coefficient d'absorption et fait apparaître sur le film un noircissement différent à l'endroit intéressé.

C'est le principe de la gammagraphie, très utilisée pour vérifier la qualité des pièces de métal et aussi pour déceler toute anomalie de construction ou de soudure.

Nous détaillerons plus loin cette technique.



### I-1-3- La technique des traceurs et indicateurs radio- actifs:

Elle est très utilisée dans l'industrie, comme dans la recherche physico-chimique; on appelle traceur toute substance, soit colorante, soit radio-active, ajoutée à une autre substance en cours de déplacement ou de transformation; ce traceur permet de repérer le trajet ou la transformation de la substance à étudier. Citons comme exemple l'étude du cheminement des eaux souterraines, la détection des nappes aquatiques, la détection des fuites de canalisation et des réservoirs, etc...

L'analyse par activation consiste à transformer un élément inactif difficilement détectable en un élément radio-actif facilement détectable.

### I-2- En Biologie et Biochimie:

Les radio-éléments sont utilisés comme traceurs ou indicateurs pour l'étude des phénomènes de physiologie végétale et animale (tels le Carbone 14, le Soufre 35, l'Iode 131). Les propriétés stérilisantes des rayonnements ionisants sont parvenues au stade industriel (stérilisation des Insectes parasites, conservation des denrées alimentaires, aseptisation d'instruments).

### I-3- En Médecine:

Les radio-éléments sont utilisés dans trois domaines principaux:



- Les épreuves fonctionnelles: telles la détermination des volumes biologiques, l'examen par scintigraphie, la mesure du débit cardiaque, les analyses biologiques.

- La radiothérapie par irradiations externes, la radiothérapie métabolique (traitement de l'hyperthyroïdie par fixation d'I<sub>131</sub>), la radiothérapie de contact au moyen des émetteurs de rayonnements  $\beta$ ; la radiothérapie endocavitaire.

Nous citons ci-après quelques nouveaux moyens de diagnostic:

On sait que l'emploi des isotopes, en particulier de l'iode radio-actif I<sub>131</sub>, rend de grands services dans le diagnostic de l'hyperthyroïdie, permettant la localisation dans la glande thyroïde des nodules hypersécrétants, ainsi que l'appréciation du pouvoir de sécrétion des reins, grâce à l'enregistrement du néphrogramme isotopique pour chacun d'eux.

L'emploi des isotopes prend chaque jour plus d'importance en médecine, pour l'étude de la valeur fonctionnelle de toute une série d'organes, pour la localisation de formations étrangères au tissu dans lequel elles se développent, et même pour l'étude des grands métabolismes de l'organisme, dont on peut ainsi découvrir et localiser les viciations.

- C'est, par exemple, l'exploration fonctionnelle du foie:

L'altération des propriétés de la cellule hépatique peut être appréciée par le trouble apporté au pouvoir que possède la glande hépatique de fixer certaines



substances et de les éliminer par la bile. Une épreuve classique, connue depuis longtemps, consiste à injecter 1,5 mg d'un produit colorant, le Rose Bengale, par kilogramme corporel, et de recueillir du sang sur oxalate par voie veineuse, quarante-cinq minutes après.

Après centrifugation, la comparaison faite au colorimètre ou au spectroscope, avec un échantillon de sang recueilli dans les mêmes conditions qu'avant l'injection, permet de mesurer le taux de la rétention de ce produit dans le sang, c'est-à-dire d'apprécier l'insuffisance de sa fixation par le foie.

Cette épreuve est infiniment moins sensible que celle qui utilise, avec le secours d'un compteur à scintillations, du Rose Bengale, dont l'iode a été marqué, c'est-à-dire est devenu radio-actif, ce qui permet de suivre de plus près, tout au long de l'opération comment s'opèrent cette fixation et son élimination par la bile.

Après l'injection de ce Rose Bengale marqué, on place un compteur à oscillations sur la tête, au niveau de l'oreille, qui permet de mesurer les variations en fonction du temps de la radio-activité du sang, due à la diffusion du produit injecté. La mesure de cette radio-activité est faite toutes les cinq minutes pendant une demi-heure. Elle diminue beaucoup plus rapidement chez des sujets normaux, par fixation dans le foie, que dans le cas d'hépatite aiguë ou chronique ou de cirrhose altérant ce pouvoir de fixation.

Une seconde sonde à scintillations est placée sur l'abdomen. Elle enregistre d'abord, comme la première, la diminution progressive de la radio-activité dans les gros vaisseaux de l'abdomen, puis, assez brusque-



ment, celle-ci remonte, par suite de l'élimination du produit par la bile et dans l'intestin. Le retard apporté à cette augmentation de radio-activité abdominale et la façon dont elle se poursuit renseignent sur les causes et le siège de ce trouble apporté à l'excrétion de la bile.

On peut aussi utiliser l'injection intra-veineuse d'or radio-actif pour détecter la présence d'une tumeur ou d'une métastase cancéreuse intra-hépatique. L'or, qui se fixe sur les cellules de Kupfer de la glande hépatique normale, n'a aucune affinité pour le tissu étranger d'une tumeur ou pour les formations cancéreuses qui vont donc se marquer sous la sonde à scintillations par des plages muettes tranchant sur la radio-activité du tissu voisin. Mais ce moyen, qui rend parfois de grands services, peut être en défaut, car ces formations métastatiques ne se marquent avec une netteté suffisante que si elles ont un diamètre d'au moins 3 cm et si elles sont assez superficielles; les masses profondes lui échappent.

- De même, on peut suivre les transformations des graisses dans l'organisme:

Les raisons de l'insuffisante absorption des graisses par voie digestive peuvent aussi se découvrir grâce à l'emploi des isotopes. On emploie la Trioléine marquée à l' $I_{131}$  qu'on fait absorber au malade, et on étudie la radio-activité du sang recueilli d'heure en heure pendant six heures, ainsi que celle des selles collectées pendant soixante-douze heures. Les mêmes épreuves sont faites ensuite avec de l'acide oléique marqué. Dans le cas d'insuffisance de lipase ou de sels biliaires dans l'intestin,



la trioléine n'est pas digérée et passe en majeure partie dans les selles; il n'en est pas de même de l'acide oléique, dont l'absorption augmente de façon significative la radio-activité du sang, tandis que l'une et l'autre ne sont pas résorbées lorsqu'il faut mettre en cause un trouble de résorption de la cellule intestinale elle-même.

- Les isotopes sont également couramment employés en Neurologie, pour le repérage des tumeurs cérébrales.

La sérumalbumine humaine marquée à l'I<sup>131</sup> se fixe avec prédilection sur le tissu cancéreux. L'exploration au moyen de la sonde à scintillation de toute la surface cérébrale, point par point, en prenant bien soin de comparer entre elles la radio-activité des deux zones exactement symétriques, révèle, dans le cas d'une tumeur néoplasique, des différences de radio-activité qui sont souvent significatives et viennent compléter et préciser les indications fournies par l'électro-encéphalographie, permettant assez souvent de se passer de l'artériographie cérébrale qui est moins inoffensive.

- Enfin, les applications pharmaceutiques:

La radio-activité permet de vérifier la composition des produits pharmaceutiques.

#### I-4- En Agronomie:

Les rayonnement ionisants sont utilisés ici pour les modifications qu'elles provoquent sur les végétaux vivants: mutations, chimères, accélération de croissance.



A l'aide de traceurs, on étudie les mœurs des Insectes, la mesure de la teneur des sols en humidité, ceci à l'aide de la sonde isotopique à neutrons.

#### II-5- En Archéologie:

Les rayonnements ionisants sont utilisés en Archéologie pour le datage des vestiges anciens.

- Le troisième groupe réunit les utilisateurs non plus de radio-éléments, mais de générateurs de rayons X. Ils sont très nombreux en radiologie médicale, et le sont beaucoup moins dans l'Industrie.



## II - UTILISATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS DANS L'INDUSTRIE PETROLIERE

Après avoir énuméré les principales applications des rayonnements ionisants, essayons d'apporter quelques précisions sur leurs différentes utilisations dans l'Industrie pétrolière.

Le pétrole nous apparaît, dans la vie courante, à l'état de sous-produits finis, immédiatement utilisables, tels que l'essence, le pétrole lampant, le gas-oil, les huiles de graissage, les huiles combustibles, les asphaltes, etc...

Nous savons que pour atteindre ces stades, il a dû subir de nombreuses transformations, depuis sa découverte sous forme de brut jusqu'au raffinage.

Donc le terme "Industrie du Pétrole" couvre un grand nombre de techniques scientifiques, de la Géologie à la Chimie et à la Mécanique, en passant par la Thermodynamique et la Mécanique des fluides.

Aujourd'hui l'utilisation des radio-éléments a atteint, au cours des différentes phases de la transformation du pétrole, un développement considérable, et les applications couvrent à peu près la gamme complète des grandes applications classiques actuelles.

Nous allons donc dresser un tableau, nécessairement schématique, de l'utilisation des rayonnements ionisants, aux différents stades de l'Industrie pétrolière, c'est-à-dire lors de la prospection et de la recherche du pétrole, pendant les opérations de forage et à l'occasion du transport par pipe-line et du raffinage.



Toutes ces techniques d'utilisation des radio-éléments viennent, dès à présent, faciliter la tâche des pétroliers, permettant une mise en oeuvre plus complète et plus économique des ressources disponibles.

Ces "outils" de travail permettent de suivre de l'extérieur le cheminement du pétrole ou de ses sous-produits, depuis les profondeurs de la terre jusqu'au raffinage, en passant par les pipe-lines et les réservoirs de stockage.

## II-1- La recherche du pétrole:

Comment découvrir ces précieux gisements mystérieusement cachés dans les profondeurs de notre planète?

Les géologues nous ont appris que le pétrole ne se rencontre que dans certaines couches telluriques.

Après avoir subi le processus de formation durant des millions d'années, on le découvre au sein de roches poreuses, le plus généralement gréseuses ou calcaires, alternant avec des couches marneuses, imp perméables. L'étude des structures constitue l'essentiel de la prospection pétrolière.

Lors des forages d'exploration, la prise de carottes revient très cher; les applications des rayonnements ionisants permettent une réduction sensible du nombre de carottes, en fournissant des informations transmises immédiatement à des appareils de mesure, depuis des "sondes" munies de détecteurs, descendues aisément dans les trous après que les tubes aient été remontés.



Les différents outils nécessaires pour cette étude des sols sont appelés les logs des couches. Ce sont:

- Le Gamma-Ray: Il s'agit d'une technique de mesure de la radio-activité naturelle des formations; les argiles sont généralement les roches les plus radio-actives.

- Les neutrons: ils évaluent la quantité d'hydrogène des formations.

- Les rayons  $\gamma$  : renseignent sur la densité et aussi la porosité des matériaux.

II-1-1- Les terrains présentent une certaine radio-activité naturelle liée à la nature des roches:

On peut la mesurer à l'aide de détecteurs type "Geiger" à haute sensibilité, ou d'autres tubes plus modernes, qui fournissent une courbe d'enregistrement de l'activité  $\gamma$  en fonction de la profondeur (mass absorption, effect).

La technique du gama-gamma est une rétro-diffusion  $\gamma$ . Une source émettrice de rayons  $\gamma$  est descendue dans le puits, avec un détecteur isolé par un écran du rayonnement direct. Les couches traversées réfléchissent une partie des rayons.

Le coefficient de réflexion est sensiblement proportionnel à la densité électronique des roches qui, dans la plupart des cas, présente une relation linéaire avec la densité. Avec une source assez puissante présentée sous forme de chlorure de césium de l'ordre de 1,5 c



de  $^{137}\text{Cs}$ , durée de vie 33 ans, l'activité naturelle des terrains est négligeable par rapport à l'activité de rétro-diffusion mesurée par le détecteur: ce dernier peut être moins sensible que pour la mesure du rayonnement  $\gamma$  naturel.

II-1-2- Il existe plusieurs techniques de carottage neutron, en particulier l'activation des couches et la rétrodiffusion des neutrons lents.

La première consiste à exposer les couches au rayonnement d'une source portative de neutrons (en général, c'est une pastille d'Américium Béryllium), provoquant ainsi l'activation de certains éléments du terrain. Un détecteur fournit l'activité de l'ensemble de ces éléments. Le rayonnement obtenu est d'autant moins intense qu'il y a plus d'hydrogène présent et il est donc possible de déterminer le degré de saturation des roches en eau ou en pétrole.

#### II-1-2-1 La rétrodiffusion des neutrons lents:

Cette dernière technique utilise également une source de neutrons; celle-ci mesure, à l'aide d'un détecteur à neutrons lents (détecteur au BF<sub>3</sub> gazeux), le flux de neutrons thermiques rétrodiffusés par les couches traversées. L'hydrogène étant très efficace pour thermaliser les neutrons rapides, sa présence renforce considérablement l'intensité de rayonnement mesuré.

II-1-3 On peut également mesurer le rayonnement  $\gamma$  secondaire émis lors de l'absorption des neutrons par les divers éléments. L'énergie de ces rayonnements  $\gamma$  est caractéristique des noyaux des éléments bombardés et la détection



avec spectrographie  $\gamma$  permet une analyse poussée de la nature du sol. Il semble en particulier qu'il soit possible de différencier l'eau salée des hydrocarbures.

## II-2- Le forage:

Il y a peu de recherches à base de rayonnements ionisants au cours du forage d'exploitation proprement dit.

C'est lorsque le forage en est à ses débuts (forage d'exploration) que les utilisations sont les plus nombreuses.

Dans le cas du champ d'Hassi Messaoud, les spécialistes des outils radio-actifs opèrent au moment où la phase de complétion qui précède la mise en production.

Les trois outils utilisés dans cette zone géographique et cette phase du forage permettent de mesurer:

- . la radioactivité naturelle (gamma-gamma)
- . la présence d'hydrogène (neutrons)
- . la densité (gamma-gamma et neutrons).

Enfin, on utilise parfois des plaques revêtues de poussières radio-actives (un dixième de millicurie) mêlées à des charges explosives qui permettent le calage en profondeur des perforations des couches recherchées.

## II-3- La production:

Les couches productrices atteintes, le pétrole jaillit sous l'effet de la pression plus ou moins grande qui règne au fond du puits. Mais une fraction impor-



tante reste prisonnière dans les pores de la roche où il est emmagasiné. Afin de forcer le fluide à gagner la surface, on utilise des procédés dits de récupération secondaire: l'injection d'eau ou de gaz: le "gas repressuring".

L'eau injectée en grandes quantités sous pression à la base du gisement provoque artificiellement l'extraction du pétrole des alvéoles de la roche et son évacuation par les puits. Dans le "gas-repressuring", le gaz des puits est comprimé en surface et refoulé dans le gisement pour en maintenir la pression. Un circuit complet et continu de gaz est établi, entraînant peu à peu le pétrole contenu dans la roche-magasin.

Il est important alors de contrôler que l'eau ou le gaz ne ressortent pas par certains des puits d'extraction; ceci est possible en marquant cette eau ou ce gaz et en plaçant des détecteurs près des sorties de puits.

Une autre application, "l'acidification", permet la recherche des zones poreuses et perméables et aussi les zones de pénétration préférentielle de l'acide utilisé pour attaquer les terrains et favoriser le drainage de l'huile vers les puits de production. L'acide est marqué, puis un détecteur révèle les zones où l'attaque a été la plus importante.

Enfin, l'étude de l'écoulement dans les roches poreuses se fait au stade de laboratoire. De nombreuses études portent sur l'écoulement de l'huile refoulée par l'eau ou des solvants dans des roches poreuses de différentes natures et structures. Ces mesures utilisent des pressions souvent très importantes. Aussi la roche en essai doit être contenue dans une enceinte métallique robuste.



Pour suivre l'avancement du front eau-huile, et, éventuellement, l'étendue de ce front, des marqueurs détectés de l'extérieur de l'enceinte ont été utilisés: ceux-ci doivent être solubles dans une des phases, sans diffuser dans l'autre: l'I<sub>131</sub> (2 500 fois plus soluble dans l'huile que dans l'eau) et le Br<sub>82</sub> peuvent répondre à cet impératif.

#### II-4- Les moyens de transport massif: pipe-lines:

Dès qu'il est extrait, le pétrole traverse des installations de traitement (séparation des gaz dissous et, éventuellement, désulfurisation et stabilisation); il est ensuite stocké dans des réservoirs, puis expédié, le plus souvent par pipe-lines, sur la raffinerie ou au port d'embarquement. Un pipe-line est constitué par des tubes d'acier soudés les uns aux autres, de manière à constituer une conduite continue, coupée seulement de temps à autre par les stations de pompage. Le diamètre du tube peut atteindre un mètre. La conduite est en général enterrée. Il est bien connu que, lors de la pose des tubes, après raccordement des tronçons successifs par soudure, ces dernières sont systématiquement contrôlées par gammagraphie. Une source de cobalt 60 et des films sont diamétralement opposés et déplacés concentriquement au cordon de soudure: les défauts de celui-ci se traduisent par des différences de noircissement du film. Cette application de gammagraphie, très classique, est particulièrement justifiée, car il serait matériellement impossible de disposer sur le terrain de sources puissantes de rayons X. Ces contrôles ont déjà permis de réaliser dans la pose des pipe-lines actuels des gains de



temps appréciables et des économies très importantes.

Au stade de l'exploitation de ces pipelines, les applications de radio-traceurs sont nombreuses et certaines sont très connues.

Il est périodiquement nécessaire de nettoyer les faces internes des tubes à l'aide de "pistons racleurs", poussés par un fluide sous pression.

Il arrive quelquefois que ces racleurs coïncident en certains points du parcours, et il convient, pour intervenir, de pouvoir localiser rapidement, sans déterrer la conduite, l'endroit où s'est produit l'incident; ceci est possible en marquant les racleurs à l'aide d'une source de  $^{60}\text{Co}$  qui peut être détectée depuis la surface du sol. Afin d'éviter de trop grands risques lors de la manipulation de ces racleurs, l'activité des sources est normalement inférieure à 100 mc de  $^{60}\text{Co}$ .

Un récent progrès consiste à placer la source dans le racleur à l'intérieur d'une protection de plomb et un dispositif convenable ne l'extériorise que lorsqu'une surpression est appliquée à la conduite, ce qui est le cas lorsqu'après blocage du racleur on recherche à le localiser. Par contre, la source se trouve protégée lorsqu'on introduit le racleur dans la conduite ou qu'on l'en extrait, après l'avoir localisée. On a pu ainsi, sans risque supplémentaire, porter l'activité de la source à 500 mc, et la rendre détectable jusqu'à 1,50 m de profondeur.

Dans une même conduite, différents produits peuvent être poussés les uns après les autres. A l'aide de marqueurs, on peut facilement localiser l'interface de deux produits à la station d'arrivée, et éviter ainsi de pomper



un produit B dans le bac de stockage d'un produit A. De telles erreurs entraînent des pertes importantes de produits liquides. Grâce à l'injection de marqueurs pendant quelques secondes, au moment du changement de produits au départ, et avec des détecteurs répartis en quelques points du parcours, on suit aisément l'avancement de l'interface.

Les marqueurs généralement utilisés sont:

- L'alcooléphénate de Baryum 140
- ou le triphénylantimoine 124

Une nouvelle technique, évitant la contamination radio-active des produits pompés par suite de l'injection du traceur, consiste à déterminer la densité des produits qui circulent par absorption du rayonnement d'une source extérieure de 300 mc de Caesium 137. La mesure du rayonnement non absorbé est faite grâce à une chambre d'ionisation. La détermination de densité, obtenue à 0,1 % près, suffit généralement pour distinguer deux produits différents.

Les conduites peuvent être quelquefois défectueuses en certains points, et il s'ensuit des fuites importantes de liquide. Ainsi, pour une conduite enterrée, la localisation rapide des fuites serait à peu près impossible sans le secours des traceurs radio-actifs.

La technique consiste à faire circuler dans la conduite douteuse une solution radioactive (avec Sodium 24). Celle-ci se répand dans le sol, à l'endroit de la fuite. Après rinçage de la conduite, on fait circuler dans celle-ci un détecteur qui repère l'endroit contaminé, c'est-à-dire celui de la fuite. La position de la fuite est transcrite automatiquement sur un graphique.



## II-5- Le Raffinage:

Les installations de fonctionnement de traitement du pétrole brut en raffinerie sont très généralement des colonnes ou des cuves à parois métalliques opaques et étanches. Il est donc souvent difficile de voir de l'extérieur ce qui se passe à l'intérieur. Sur ce plan, les radio-éléments ont permis de résoudre un grand nombre de problèmes de mesure et de contrôle de mécanismes.



TROISIEME PARTIE

DANGERS QUE PRESENTE POUR L'HOMME

L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS.



## I. GENERALITES

Le danger que peut présenter, pour l'Homme, une exposition aux rayonnements ionisants est apparu dès la découverte des rayons X et de la radio-activité naturelle.

Depuis la découverte de la radio-activité artificielle et celle des processus de fission, l'emploi généralisé des radio-isotopes dans l'industrie, la médecine, l'agriculture et la recherche, l'utilisation industrielle de l'énergie atomique ont multiplié les sources de rayonnements et créé des possibilités d'irradiation croissante pour les travailleurs (et pour la population dans son ensemble).

Le danger radioactif est tout particulièrement grave, car il est absolument indécélable par nos sens; insidieux parce qu'impalpable, inodore, invisible, n'émettant aucune chaleur, inappréciable, le rayonnement radioactif ne peut être décelé et évalué qu'à l'aide d'appareils spécialisés.

Les risques sont de deux sortes:

- celui d'une irradiation externe,
- et celui d'une irradiation interne,

soit par inhalation, soit par ingestion.

Dans le cas d'une irradiation externe, il suffit de définir une dose d'exposition maximum admissible exprimée en Roetgens, c'est-à-dire correspondante à une ionisation dans l'air; il n'en est pas de même pour une irradiation corporelle réalisée soit par voie digestive, soit par voie respiratoire, ou même cutanée, avec ou sans effraction. Dans le cas d'irradiation interne, différents facteurs doivent être pris en considération, les uns liés



aux corps radio-actif lui-même, les autres dépendant de l'organisme humain.

La période du radio-élément est importante à considérer, ainsi que la nature et l'énergie des rayonnements qu'il émet; entrent également en ligne de compte, l'état physique de l'agent radio-actif (soluble ou insoluble), et ses propriétés chimiques, c'est-à-dire son aptitude à entrer dans telle ou telle combinaison moléculaire; enfin, le métabolisme de l'élément radio-actif dans l'organisme, en particulier l'absorption pulmonaire ou digestive, la répartition et la fixation dans les divers organes et tissus, l'élimination finale, jouent un rôle primordial.

On appelle "organe critique", celui au niveau duquel la localisation d'un élément radio-actif donné risque de déterminer des conséquences particulièrement nuisibles, soit pour l'organe lui-même, soit par répercussion pour l'organisme considéré dans son ensemble. Cette notion d'organe critique fait entrer en jeu, à la fois la nature de l'élément radio-actif, la radio-sensibilité de l'organe, et aussi son rôle physiologique.

Dans le cours de M. COLINET (2), on peut lire un tableau très complet de la fixation de nombreux éléments sur les organes critiques.



## II. REPARTITION DANS L'ORGANISME DE LA CONTAMINATION ABSORBÉE

### II-1. Absorption par inhalation:

Absorbé par voie pulmonaire, l'élément radio-actif se fixe dans l'organisme suivant sa solubilité et ses propriétés chimiques; cette pénétration peut être évaluée schématiquement par les pourcentages suivants:

S'il s'agit de composés solubles:

- 50 % s'acheminent par les voies respiratoires supérieures, le tube digestif, le sang, et se fixent dans un organe particulier;
- 25 % arrivent au même organe par les poumons et le sang
- et les 25 % restant représentent la fraction exhalée.

Lorsque les éléments sont insolubles:

- 50 % transitent des voies respiratoires supérieures dans le tube digestif et sont éliminés;
- 25 % passent par les poumons, le tube digestif, puis sont éliminés;
- et les 25 % restant sont exhalés.

### II-2 Dans le cas d'une absorption par ingestion, la répartition s'effectue aussi:

- pour les composés solubles: tube digestif - sang - organe particulier;
- dans le cas de composés insolubles: tube digestif - élimination.

La contamination radio-active de l'atmosphère entraîne, par inhalation, une contamination interne de l'organisme lorsque la substance inhalée est

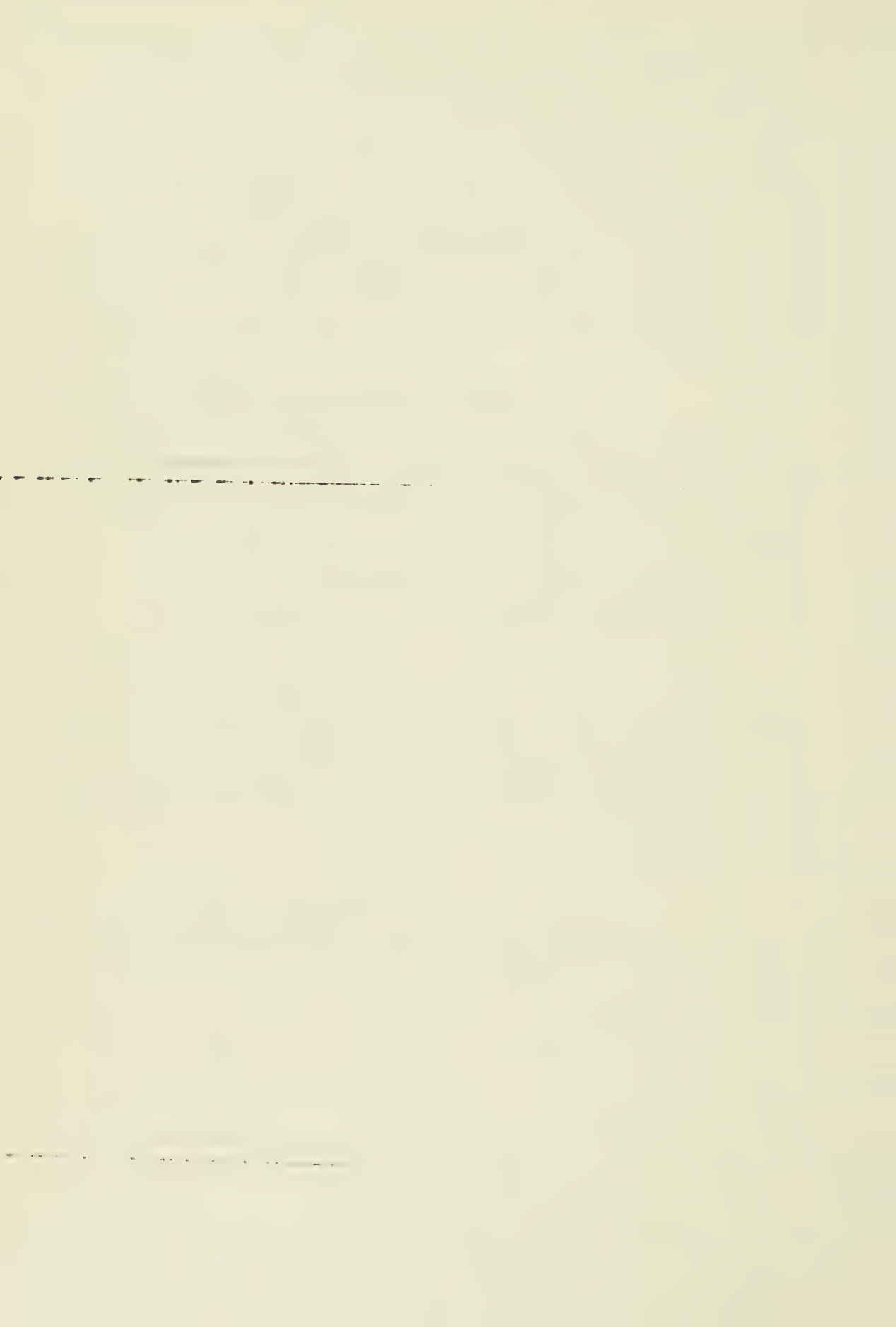


susceptible d'être retenue dans l'organisme (rétention des aérosols dans les poumons, ou solubilité au niveau des alvéoles pulmonaires), il en résulte donc une irradiation interne de l'organisme. Mais en outre la contamination atmosphérique entraîne une irradiation externe pendant toute la durée du séjour en atmosphère contaminée; en effet, chaque centimètre-cube de l'air qui nous entoure constitue une source radio-active dont nous subissons le rayonnement à distance.

L'absorption de l'énergie dissipée dans la matière vivante par un projectile ionisant, quel que soit le mécanisme par lequel il exerce son action sur les molécules intéressées, est toujours préjudiciable à ces dernières. Leur altération pourra être inappréciable (la lésion étant réparable ou compensable), ou bien se traduira par des manifestations de souffrance.

Suivant la fonction exercée par les cellules intéressées, leur altération - et même leur mort - pourront soit rester sans effet, soit entraîner une répercussion de nature physiologique ou génétique. D'autre part, la répétition des atteintes pourra induire une transformation maligne.

Nous allons rapidement évoquer les lésions occasionnées par les rayonnements ionisants sur la peau, le sang, les cellules reproductrices, enfin les effets génétiques.



### III. ACTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS SUR L'ORGANISME

#### III-1- Action des radiations ionisantes sur les téguments:

Les altérations cutanées consécutives aux irradiations peuvent être considérées, l'érythème mis à part, comme des accidents. Elles sont occasionnées en général par des fautes de technique et dûes à des irradiations pénétrantes de grande puissance.

Les lésions cutanées sont de deux sortes:

- Les unes se manifestent immédiatement; ce sont les érythèmes et les radio-dermites précoces.

- Les autres sont parfois très tardives; ce sont les radio-dermites tardives.

L'apparition des troubles cutanés, leur intensité, leur évolution dépendant de la dose reçue, de la durée et du rythme de l'irradiation, de l'étendue du champ irradié, du pouvoir d'absorption de la peau.

#### III-1-1- Erythèmes et radio-dermites précoces:

- L'érythème: dû à une faible dose de Rayons X, apparaît au cours des 24 heures qui suivent l'irradiation. Cette poussée s'efface rapidement sans laisser de traces.

Une deuxième vague apparaît entre le 12ème et le 30ème jour. Il s'agit d'une rougeur plus ou moins poussée de la peau, accompagnée d'un prurit violent. Après une phase de desquamation, les lésions disparaissent lentement laissant d'ordinaire une pigmentation d'intensité variable. C'est la radio-dermite du premier degré.

Une troisième poussée peut se manifester entre le 40ème et le 60ème jour.



- La radio-dermite érythémato-vésiculeuse, ou radio-dermite du deuxième degré apparaît entre le 6ème et le 10ème jour après l'irradiation; il s'agit d'une rougeur interne de la peau accompagnée d'un prurit violent et de sensation de cuisson. Les parties irradiées se couvrent de vésicules, qui, vers le 15ème jour se déchirent, laissant après elles une surface suintante et très douloureuse. La guérison demande un ou deux mois.

- La radio-dermite bulleuse: elle se différencie de la forme précédente par les dimensions des décollements de l'épiderme.

Dans certains cas, au lieu de se cicatriser, ces lésions sont le point de départ d'un processus ulcératif, douloureux et très long à guérir.

- En cas de brûlure grave, due à une faute de technique, la radio-dermite bulleuse fait place à un processus ulcératif, la radio-dermite du 3ème degré.

- Les phanères ou annexes de la peau présentent vis-à-vis des radiations une sensibilité très inégale.

- Les follicules pileux sont très peu résistants. Suivant l'intensité de l'irradiation, l'épilation peut être temporaire ou définitive.

- Les ongles peuvent être également atteints. Leur chute ne s'observe qu'en cas de destruction des cellules matricielles.

- Les glandes sébacées paraissent encore plus fragiles que les follicules pileux. D'après certains auteurs, elles seraient l'élément le plus radio-sensible de la peau.

- Les glandes sudoripares sont au contraire très résistantes.



### III-1-2- Radio-dermite tardive

La radio-dermite tardive ou scléro-atrophique peut faire suite à une radio-dermite précoce érythémateuse, bulleuse ou ulcéreuse ou n'apparaître qu'après un temps de latence fort variable, allant de quelques semaines à plusieurs années. Elle revêt un aspect très caractéristique qui évoque à la fois la sclérodermie et les états poikilodermiques. C'est un placard de consistance lardacée au niveau duquel sont entremêlées des plages atrophiques d'un blanc nacré des taches pigmentaires punctiformes ou réticulées, des télangiectasies.

III-1-3- Les complications à craindre des radio-dermites tardives sont l'ulcération et la transformation maligne.

#### - L'ulcération:

= Les radio-dermites tardives (chroniques) s'ulcèrent avec la plus grande facilité. Cet accident peut se produire spontanément; d'autres fois, il fait suite à un traumatisme parfois minime.

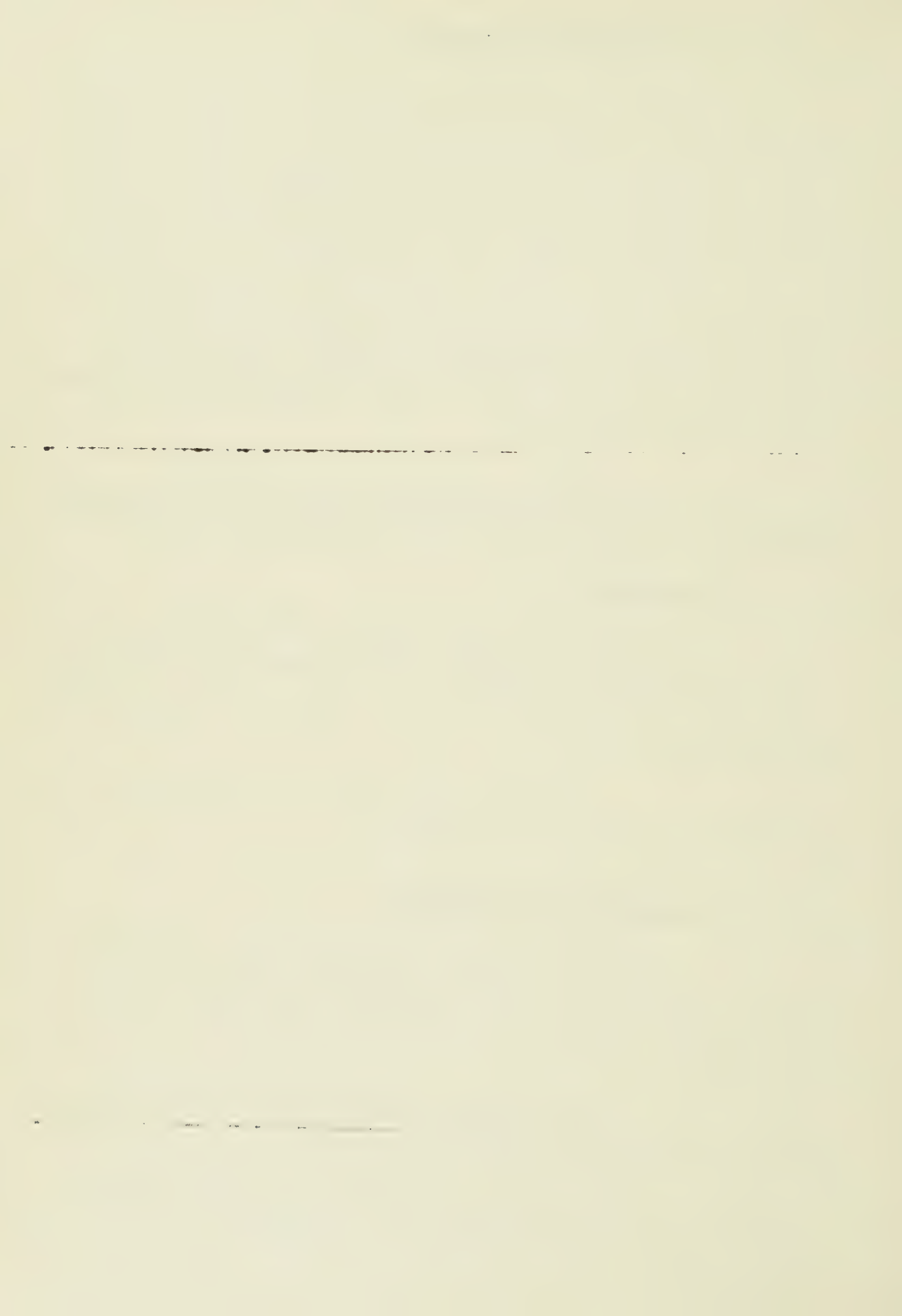
Ces ulcérations sont fort douloureuses et extrêmement rebelles aux traitements.

#### - La transformation maligne

Des tumeurs malignes peuvent apparaître au niveau des radio-dermites. Ces néoplasmes revêtent des aspects variés: ulcérations, papillomes, kératomes, tumeurs en chou -fleur.

L'épithélioma spino-cellulaire est de loin la tumeur la plus fréquemment constatée.

Le moment précis de la transformation cancéreuse est en général bien malaisé à préciser.



La malignité d'un épithélioma spino-cellulaire apparu sur une radio-dermite est fort variable; mais dans la majorité des cas le pronostic est sérieux.

Après l'atteinte du revêtement cutané, les lésions occasionnées aux cellules sanguines et aux organes hématopoïétiques sont les plus fréquentes.

III-2- Nous passerons rapidement en revue l'action des radiations ionisantes sur les cellules normales du sang et les organes hématopoïétiques, dans les cas d'irradiation aiguë et chronique:

#### III-2-1- Effets d'une irradiation aiguë

On constate des effets immédiats et tardifs:

- Les effets immédiats sont les suivants:

Dans le sang périphérique apparaissent des cellules morphologiquement dystrophiques, tels des polynucléaires polylobés, des lymphocytes bilobés, des lymphocytes en pycnose, des images de caryorrhéxis, d'inclusions cytoplasmiques, une augmentation des granulations, etc...

La lyse cellulaire est évidente, on peut constater dans la rate divers indices d'érythrolyse. Le pourcentage relatif des cellules nucléées mortes dans la rate, les ganglions, la moëlle osseuse augmente notablement. Cette augmentation est plus élevée dans la rate pour les doses subléthales, probablement en raison du rôle de cet organe dans la lyse des cellules sanguines.

L'inhibition mitotique s'ajoute à la cytolyse.



Il faut souligner que:

- = le degré de cytolyse dépend de l'importance de la dose;

- = la rapidité d'apparition des anomalies est variable d'un type de cellule à l'autre, les lymphocytes sont les premiers atteints, puis les polynucléaires, enfin les plaquettes sanguines et les hématies. Ces dernières étant particulièrement radio-résistantes.

- = le seuil de sensibilité est également variable d'un type de cellule à l'autre;

- = il existe une tendance à la régénération spontanée lorsque la dose n'est pas très forte;.

Les divers organes et tissus hématopoïétiques sont différemment sensibles aux radiations:

Si le tissu lymphoïde semble plus rapidement aplasié que le tissu myéloïde, celui-ci l'est relativement plus intensément pour une dose forte.

La sensibilité respective des diverses cellules du tissu myéloïde est difficile à apprécier. Celle du tissu lymphoïde l'est encore davantage.

La durée moyenne de vie des hématies étant de 100 jours environ nous explique que leur diminution soit lente.

#### - Les effets tardifs:

Une seule irradiation augmente les risques d'apparition de leucémie ou d'états leucémoides; des observations nombreuses l'ont montré.



III-2-2- Les effets d'expositions répétées (ce qu'on pourrait appeler "une intoxication chronique").

Dépendent essentiellement des doses reçues lors de chaque irradiation, de la fréquence de ces dernières et de la dose totale. Par exemple, un contact de 8,8 rems par jour est suffisant pour provoquer une lymphopénie dans un temps plus ou moins long.

La conclusion pratique est la suivante:

La constatation d'une formule sanguine normale chez un sujet exposé à une irradiation chronique ne permet pas d'affirmer qu'il est à l'abri de complications tardives. Ce sont les petites irradiations répétées pendant de longues périodes qui sont, pour l'avenir parfois très lointain, du sujet, les plus dangereuses.

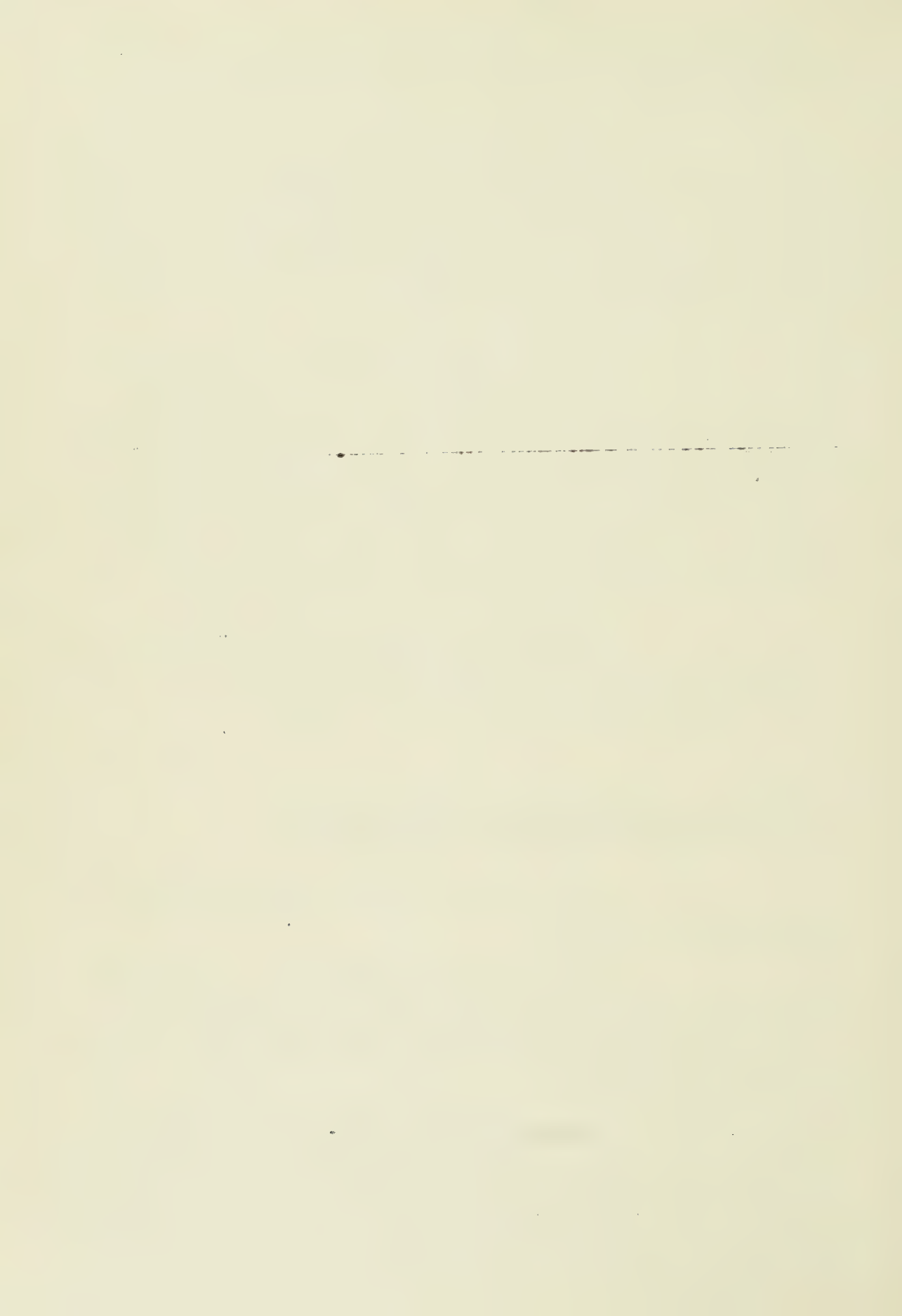
Ce sont elles dont il faut surtout se méfier et c'est contre elles que les mesures de prévention doivent être particulièrement conçues:

### III-3- Effets génétiques de l'irradiation:

Le problème est très important, mais il est difficile à estimer.

Les recherches intéressant l'évaluation des possibilités mutagènes des radiations ionisantes sur les cellules germinales humaines sont nombreuses, mais souvent contradictoires.

L'analyse statistique de la descendance des irradiés d'Hiroshima et de Nagasaki a permis certaines constatations dont la plus manifeste est la diminution relative du nombre des naissances masculines pour la première génération.



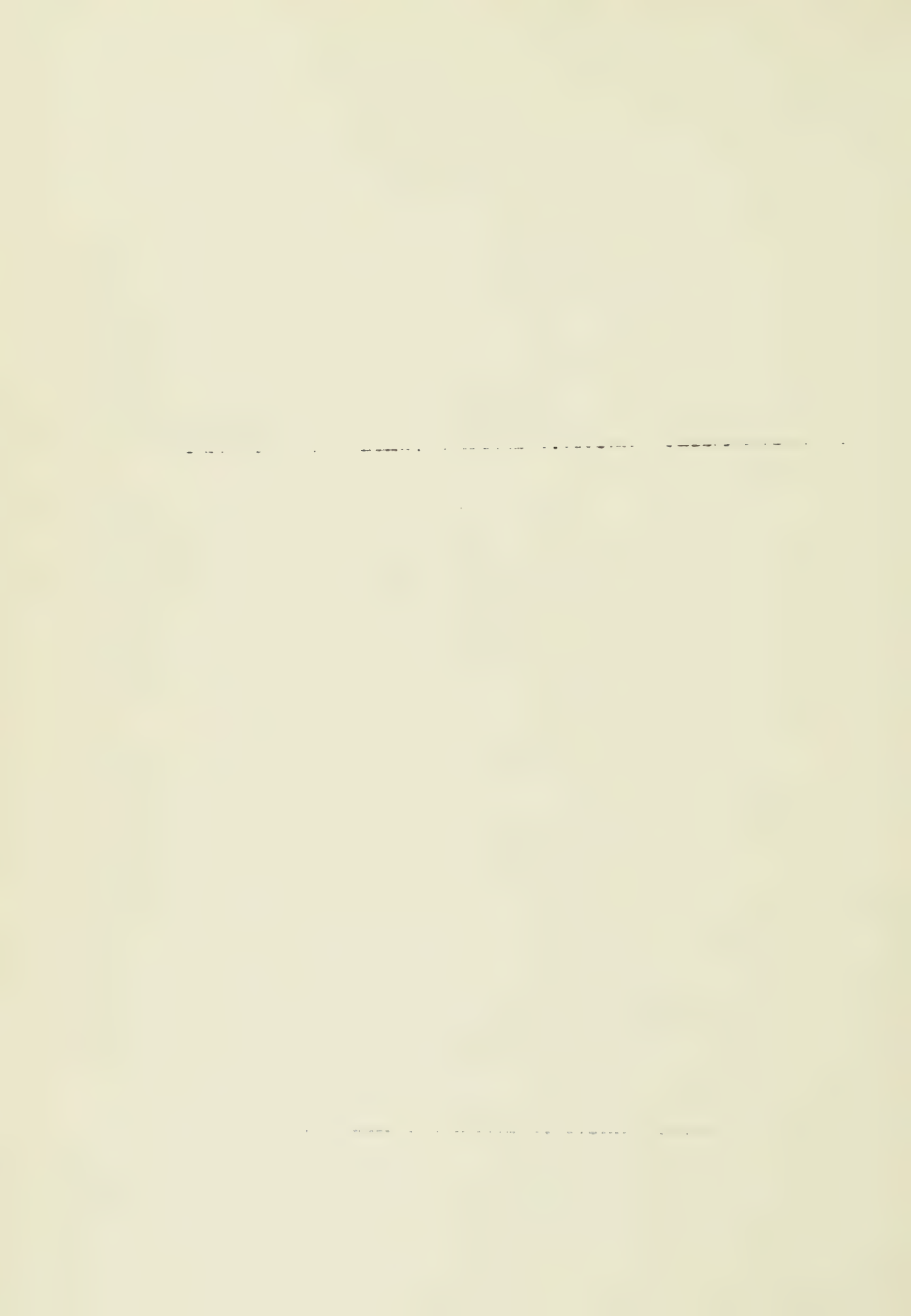
L'interprétation en est délicate, il faut tenir compte du sexe du parent irradié: l'irradiation maternelle semblant jouer un rôle paradoxalement dominant (on a émis l'hypothèse d'une atteinte spécifique du chromosome Y).

C'est là, semble-t-il, la conséquence la plus importante qui atteint la première génération de sujets irradiés. Dans leur descendance, les morts fœtales et néonatales, le poids à la naissance, les malformations congénitales, n'ont montré jusqu'à ce jour aucune différence significative par rapport à une population-témoin non irradiée.

RUSSEL et KELLY ont pu préciser en 1963 que la fréquence des mutations induites dépend non seulement de la dose totale reçue, mais aussi du débit de dose. Ils estiment que, s'il n'y a probablement pas de seuil pour l'action mutagène, il pourrait en exister un pour les mécanismes de réparation.

On estime à 1/100 000ème par locus et par génération de taux des mutations spontanées décelables chez la Souris. Peut-on extrapoler ce chiffre à l'Homme?

Sous réserve des résultats envisagés précédemment, on suppose que la relation dose-effet mutagène est linéaire, même pour les très faibles valeurs de la dose; et on exprime le coefficient de proportionnalité par la notion de dose de doublement; c'est la dose qui multiplie par deux le taux des mutations spontanées décelables; les estimations extrêmes vont de 10 à 160 Rad en dose unique; le rapport de l'O.N.U. propose comme dose de doublement la plus probable: 3 Rad pour le sexe masculin et peut-être un peu moins pour le sexe féminin.



En conclusion: on admet que les rayonnements ionisants sont susceptibles d'entraîner un dommage génétique à toutes doses et à tous les débits.

Il faut poursuivre les recherches de génétique statistique chez les individus normaux ou irradiés avant de pouvoir donner une estimation quantitative.



III-4- Action des radiations ionisantes sur la gamétogenèse  
et la glande interstitielle:  
=====

III-4-1- Action des radiations ionisantes sur la gamé-  
togenèse:

- Le testicule:

Actuellement, l'intérêt des perturbations spermatogénétiques dues aux radiations ionisantes ne cesse de s'accroître.

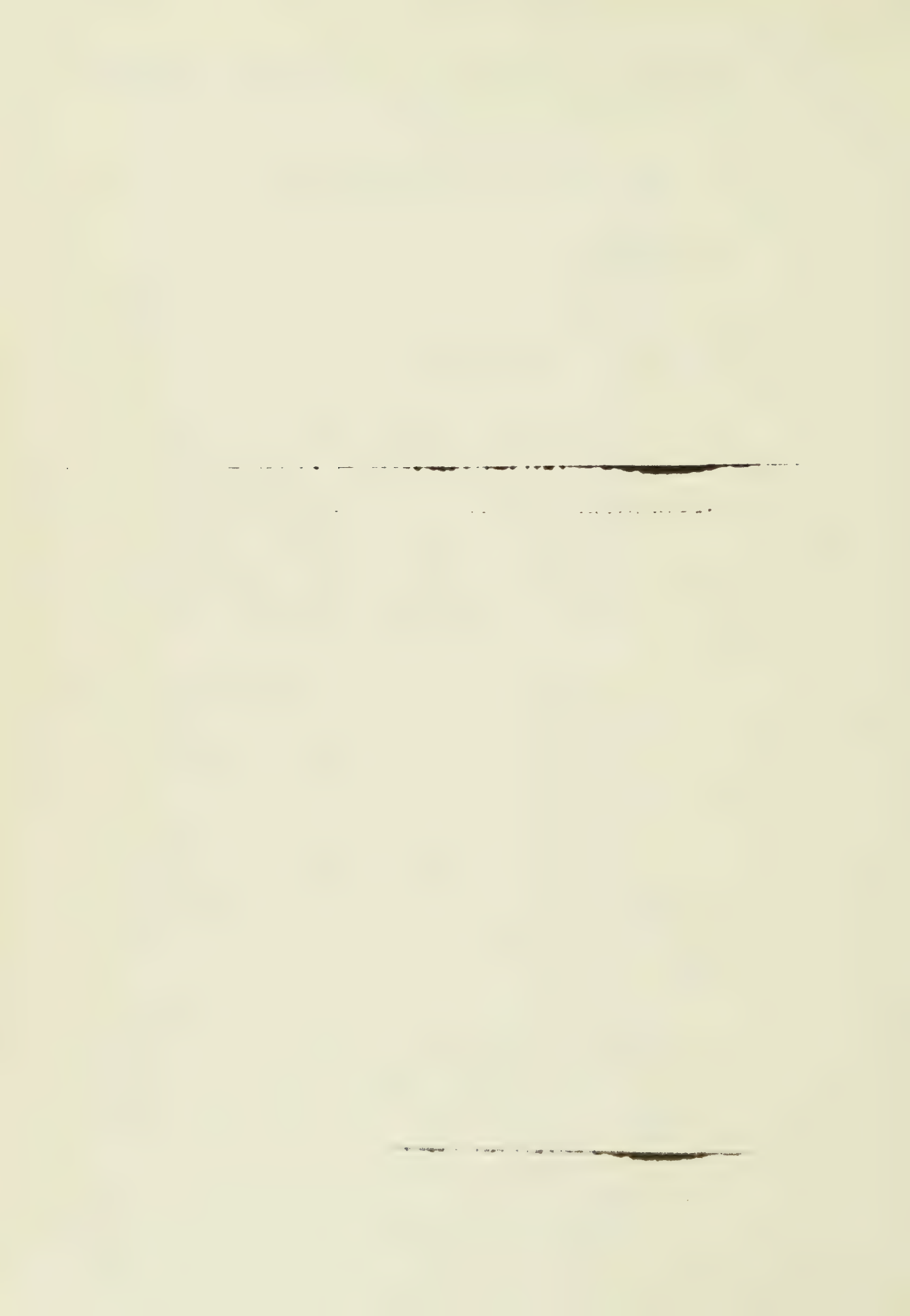
Certaines observations d'accidents survenus dans l'industrie atomique ont été ainsi parfaitement étudiées, par confrontation entre des spermogrammes et des biopsies testiculaires pratiquées à diverses reprises. Dans la plupart des cas, la conservation de quelques spermatogonies a permis la restauration ultérieure de la spermatogenèse.

L'établissement d'une stérilité définitive nécessite de 500 à 600 r, mais une dose de 250 r peut déterminer une stérilité temporaire d'une ou deux années (SCHUBERT et LAPP, réf. n° 16).

Les irradiations répétées et à faibles doses de la région scrotale ont un effet néfaste pour la fertilité. Ceci a été prouvé par l'étude des biopsies testiculaires des sujets exposés.

Ces biopsies testiculaires ont montré également le caractère bigarré et polymorphe de la restauration de la spermatogenèse après irradiation, et l'absence de lésions vasculaires dans les irradiations testiculaires par des neutrons rapides.

Dans les cas d'irradiation peu intenses, et relativement récentes, on observe certaines particularités histologiques: arrêt de la spermatogenèse au stade



spermatocyte II, altérations cytologiques durables des spermatogonies croûteuses, dont la plupart n'arrivent pas à maturation, anomalies méiotiques et altérations fibrinoïdes artériolaires.

Il est difficile d'interpréter des altérations secondaires, observées longtemps après l'arrêt de l'irradiation nocive.

Cependant, il nous est apparu intéressant de souligner l'importance de la vitrée périvitulaire dans la qualité de la régénération ultérieure: sa relative intégrité nous paraît une condition indispensable à la restauration de la spermatogenèse: ainsi, il conviendrait d'admettre que les radiations ionisantes lèsent essentiellement les spermatogonies, les vaisseaux et les vitrées périvitulaires.

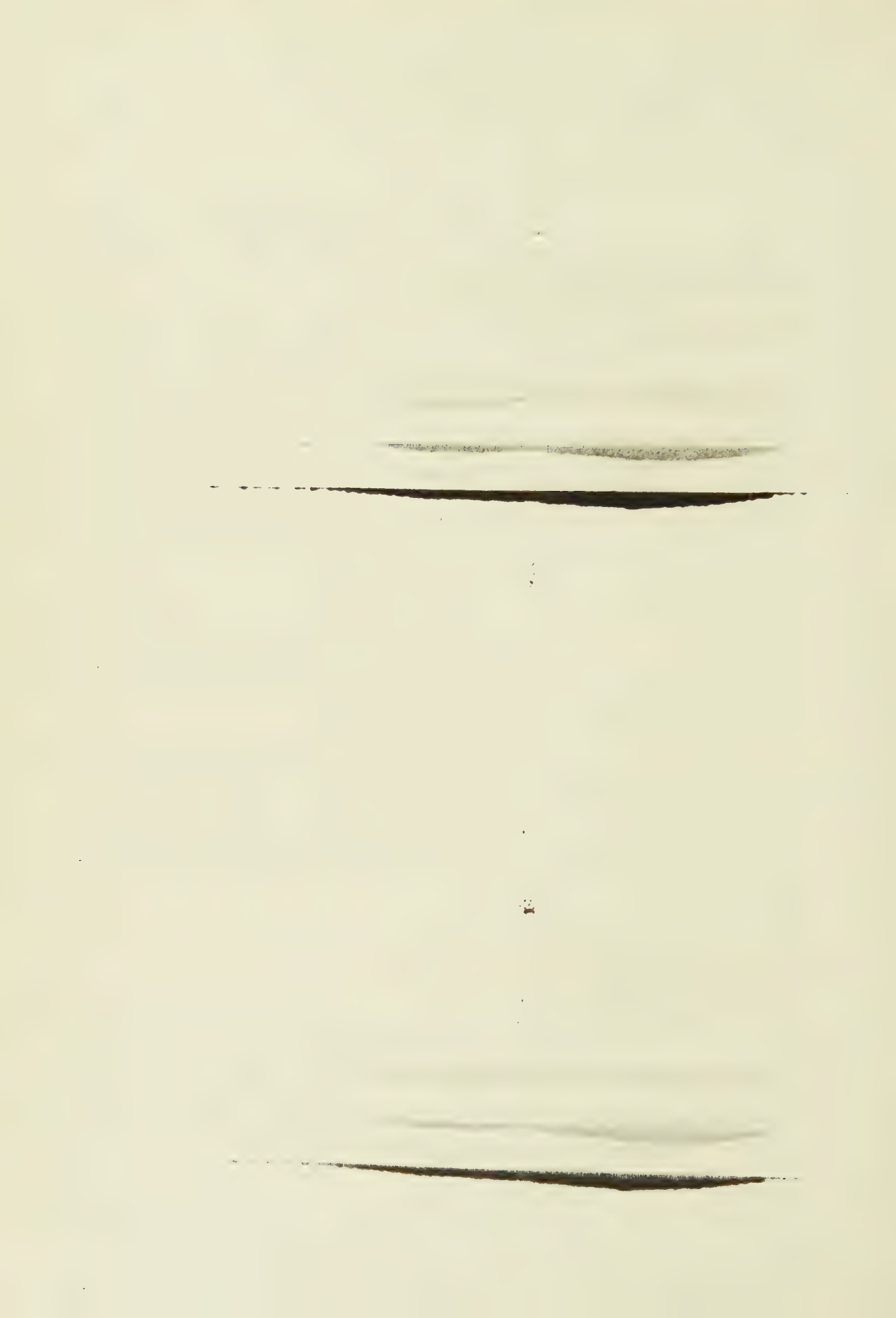
Il faut noter d'autre part l'absence de lésions vasculaires à type de nécrose fibrinoïde chez un sujet ayant reçu des neutrons rapides.

Les irradiations thérapeutiques et les irradiations répétées accidentellement avec protection nulle ou insuffisante semblent beaucoup plus nuisibles pour la fertilité qu'une irradiation accidentelle unique, même massive.

#### - L'ovaire:

L'irradiation portant sur l'ovaire entraîne des symptômes cliniques identiques à ceux de la castration chirurgicale et de la ménopause: arrêt de la menstruation et atrophie progressif du tractus génital, et particulièrement de l'endomètre.

La stérilité est le plus souvent temporaire, surtout si la dose reçue a été faible et, s'il s'agit d'une femme jeune: dans ce cas, les menstruations



qui traduisent le retour de la fertilité, réapparaissent après une période d'aménorrhée qui peut atteindre un an, mais se trouve le plus souvent comprise entre 2 et 8 mois. A ce moment, les follicules qui ont survécu à l'irradiation reprennent leur évolution, ce qui détermine la reprise des activités sécrétoires spécifiques. Il y a donc possibilité ultérieure de fécondation et de gestation, avec cependant l'handicap d'un retentissement génétique.

Il est généralement admis qu'une dose de 500 r sur les ovaires suffit dans la plupart des cas à déterminer une stérilité permanente chez la Femme.

#### III-4-2- Action des rayonnements ionisants sur la glande interstitielle:

##### - Testicule:

L'action des rayonnements ionisants sur la glande interstitielle testiculaire est pratiquement nulle. Les doses suffisantes pour détruire les spermatogonies la laissent habituellement intacte: ces différences de radio-sensibilité ont été<sup>pu</sup> utilisées par ANCEL et BOUIN (réf. n° 16) pour dissocier la fonction endocrine et la fonction exocrine du testicule. On a aussi constaté le maintien des caractères sexuels secondaires sous la dépendance de la glande interstitielle.

##### - L'ovaire:

La glande interstitielle de l'ovaire possède une radio-résistance comparable à celle de la glande interstitielle du testicule.



Après cette brève énumération des lésions causées par les radiations, nous voudrions décrire les risques professionnels dont elles peuvent être la cause.



## IV - RISQUES PROFESSIONNELS DUS AUX

### RAYONNEMENTS IONISANTS

Pour ce faire, il nous faut rappeler les différents modes d'agressions radio-actives de l'organisme.

#### IV-1- Généralités:

Cette agression peut se faire de trois façons différentes, par

- . irradiation externe,
- . contamination externe,
- . contamination interne.

- L'irradiation externe: elle est réalisée lors de l'exposition de l'organisme à des sources de rayonnements: radio-activité naturelle, cosmique ou tellurique, radio-activité artificielle médicale ou industrielle, habituelle ou accidentelle.

- La contamination externe: résulte du contact sur le revêtement cutané de substances radioactives. Elle peut intervenir en milieu professionnel par insuffisance de protection, mais cède d'une manière générale assez facilement aux lavages effectués sur les lieux du travail ou dans les services spécialisés. Les consignes d'hygiène professionnelle correctement appliquées doivent rendre ses effets négligeables.

- La contamination interne: mérite une particulière attention; la source de rayonnement se trouve dans l'organisme lui-même, en ce sens que c'est l'absorption



respiratoire ou digestive qui a fixé des produits radio-actifs et c'est de l'intérieur que font agir les rayonnements ionisants.

Cette contamination interne peut se produire en maintes occasions: utilisation des radio-éléments, pollution des milieux de travail, pollution de l'eau ou de l'air environnant.

Irradiation et contamination professionnelles risquent de provoquer des lésions: quelles sont-elles?

#### IV-2- Lésions professionnelles par irradiations externes:

##### IV-2-1- Irradiation externe généralisée:

Au cours d'une exposition unique, la dose délivrée peut-être plus ou moins importante. Une irradiation très intense provoque des effets précoces.

L'accident grave est exceptionnel (accident des grands appareils).

Les rayonnements en cause sont les  $\gamma$  et les neutrons.

L'irradiation généralisée engendre le syndrome aigu d'irradiation.

- au-dessus de 5 000 Rems, la mort survient en quelques minutes par effet direct de l'irradiation sur les centres nerveux;

- de 1 000 à 5 000 Rems, le choc habituel entraîne la mort en quelques heures;

- de 500 à 1 000 Rems, l'évolution mortelle demande quelques jours.



Les signes gastro-intestinaux sont les plus précoces et dominent le tableau clinique; des nausées sont suivies de vomissements incoercibles qui entraînent une déshydratation avec hémococoncentration et troubles électrolytiques. L'iléus paralytique, l'hémorragie intestinale sont très fréquents; la barrière intestinale devient très perméable aux Bactéries, d'où septicémie d'autant plus grave que l'organisme est incapable de se défendre.

- De 100 à 500 Rems, l'évolution clinique passe par trois périodes:

Tout d'abord, une phase de latence qui dure 15 à 20 jours, laquelle est suivie d'une phase critique de 3 à 4 semaines. En cas d'évolution favorable, la phase d'amélioration commence; elle est de durée variable.

Il existe une forme aiguë plus atténuée: le mal des rayons: les signes généraux (asthénie, état dépressif), digestifs (nausées, vomissements), nerveux (céphalées, torpeur, vertiges) sont précoces (au bout de quelques heures). La peau est érythémateuse, la conjonctivite fréquente; les signes hématologiques apparaissent bientôt: le plus précoce est la lymphopénie (1er jour), la granulopénie est plus tardive (15ème à 20ème jour). La thrombopénie est constante. Le laboratoire révèle une amino-acidurie et une augmentation des transaminases. Vers le 15ème jour, une épilation complète se manifeste. Les cheveux et les poils ne repoussent qu'au moins trois mois après.

Lors de la phase critique, la diarrhée apparaît et assombrit le pronostic. En plus de ce signe clinique, une température élevée, des hémorragies diverses, un purpura, caractérisent cette phase.



L'examen de la moëlle osseuse montre une aplasie médullaire.

La mort survient par hémorragie ou infection, les moyens de défense de l'organisme étant sidérés.

Lorsque l'évolution est favorable, les signes hématologiques s'améliorent, mais lentement/

La thérapeutique habituelle repose sur la diététique, l'asepsie, les antibiotiques, les transfusions, les anti-hémorragiques.

- De 50 à 250 Rems, aucun signe clinique, à part quelques légers troubles: anorexie, nausées, vomissements le premier jour. Les anomalies hématologiques sont les suivantes: les leucocytes sont diminués, on constate une augmentation rapide des lymphocytes, puis une diminution progressive en un mois.

Le retour à la normale est très lent et demande plusieurs mois.

L'anémie apparaît plus nettement à partir de 100 Rems. Les plaquettes diminuent aussi. Il n'y a pas d'hémorragie. Les cas mortels sont rares.

- Moins de 50 Rems: Ces irradiations n'engendrent ni signes cliniques, ni signes fonctionnels.

- A partir de 25 Rems, il est possible de déceler des perturbations hématologiques. Les globules blancs sont atteints en premier (leur vie moyenne est de 5 jours dans le sang circulant). Les hématies diminuent plus tardivement (durée de vie: 100-120 jours). Les cellules-souches sont plus sensibles que celles du sang circulant et le tissu lymphoïde en particulier. Signalons que certains effets sur les chromosomes pourraient être



# DOSES ET EFFETS DU RAYONNEMENT SUR L'HOMME

| en<br>Rem | Morts<br>(p.100) | Malades<br>(p.100) | A évacuer<br>(p.100) | Effets sur l'Homme<br>Description sommaire en vue des décisions<br>d'intervention                                                                               |
|-----------|------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | 0                | 0                  | 0                    | Dose de sécurité<br>Pas de symptômes - Eviter toute dose pendant plusieurs mois                                                                                 |
|           | 0                | 0                  | 0                    | Dose de sécurité<br>Pas de symptômes - Eviter toute dose pendant plusieurs mois                                                                                 |
|           | 0                | 2                  | 100                  | Dose d'alarme<br>Quelques malades - Indisposition temporaire<br>Repos de plusieurs mois                                                                         |
|           | 0                | 25                 | 100                  | Le risque devient très grand et doit être posé en fonction du but à atteindre                                                                                   |
|           | 0                | 100                | 100                  | 100 p. 100 de malades (en quelques heures: nausées, vomissements, prostration, indisponibilité de quelques jours à plusieurs semaines.<br>Récupération complète |
|           | 2                | 100                | 100                  | Seuil de mortalité                                                                                                                                              |
|           | 50               | 100                | 100                  | Dose semi-mortelle - Vomissements après l'irradiation - Amélioration pendant la période de latence - Aggravation après trois semaines                           |
|           | 100              | 100                | 100                  | Dose mortelle absolue (1)<br>Symptômes rapides (vomissements, anorexie, diarrhée, fièvre). Mort après 15 jours.                                                 |

On dit parfois "dose léthale" pour 600 R et la "dose semi-léthale" pour 400 R



décélables entre 15 et 25 Rems, mais ceci est très difficile à mettre en évidence.

#### IV-2-2- Irradiations externes généralisées à répétition

Elles sont à l'origine de manifestations hématologiques caractérisées:

- C'est tout d'abord la leucopénie et la neutropénie qui résultent de l'atteinte des organes hématopoïétiques et qui s'accompagnent d'anémie.

Cette perturbation de la formule sanguine est persistante. C'est une anémie aplasique, souvent accompagnée de thrombopénie. Son évolution est grave et marquée d'accidents hémorragiques ou infectieux. Ces anomalies sanguines peuvent précéder la leucémie, d'apparition parfois brutale.

L'apparition de cancers à plus ou moins longue échéance semble indéniablement liée au risque radioactif. Les irradiations externes professionnelles répétées ne paraissent provoquer des cancers cutanés que seulement à partir de radio-dermites graves ( plus de 3 000 Rems). Par contre, de nombreux cancers professionnels peuvent survenir à la suite de contaminations internes.

#### IV-2-3- Irradiation externe localisée aiguë

Ce sont des accidents qui ne sont pas rares dans les industries manipulant des sources radioactives.

On peut observer l'atteinte de la peau, de l'oeil, des gonades.



34  
Les lésions cutanées sont les plus fréquentes. Les individus atteints sont les manipulateurs de sources scellées pour irradiation , les utilisateurs de radio-éléments et de sources (les rayonnements sont particulièrement dangereux pour la peau, du fait de leur parcours limité à quelques millimètres dans les tissus).

Les lésions sont soit l'érythème, soit les radio-dermites et leurs complications que nous avons détaillées dans un chapitre précédent.

Les lésions oculaires: que ce soit des kératites ou des conjonctivites, elles sont le fait des rayonnements X et . Les rayonnements et les neutrons à de très fortes doses (plusieurs milliers de Rem) occasionnent des opacités de la cornée et la destruction des glandes oculaires entraînant, à plus ou moins long terme, la cécité.

- Enfin les gonades sont atteintes. Nous l'avons également décrit.

#### IV-2-4- Irradiations externes localisées à répétition:

Elles sont plus fréquentes que les irradiations aiguës, généralement spectaculaires. Les doses, moins importantes, sont répétées. Les manifestations apparaissent avec plus ou moins de retard. Les lésions sont superposables à celles de l'irradiation externe unique, mais elles exigent une dose cumulée plus importante par suite du processus de réparation de l'organisme, d'autant plus efficace d'ailleurs que les irradiations seront plus espacées dans le temps.

- La peau (des mains et des doigts surtout) peut être atteinte lors des manipulations de radio-



Éléments émetteurs de  $\beta^-$  .

Les lésions apparaissent plusieurs mois ou plusieurs années après les travaux nocifs et résultent des petites doses renouvelées totalisant finalement plusieurs centaines de Rems.

- La sécheresse de la peau est le premier signe (atteinte des glandes sébacées), puis un certain durcissement apparaît. Les empreintes digitales peuvent disparaître assez vite (ceci est un élément d'appréciation de la surveillance du personnel exposé au rayonnement ( ). La cancérisation de ces lésions est possible (voir Chapitre "Complications des radio-dermites", page ( ). Elle est surtout la conséquence de doses délivrées très importantes (environ 5 000 Rems).

- L'oeil peut également être atteint sous la forme d'opacité cristallinienne. Les manipulateurs de générateurs X, d'accélérateurs de particules  $\gamma$  sont exposés. Les neutrons peuvent être à l'origine de certaines cataractes professionnelles (2 000 Rems en quelques mois, 1 000 Rem en plusieurs années).

Nous verrons dans le Chapitre "Prévention" que la surveillance médicale du personnel concerné doit obligatoirement comporter un examen ophtalmologique annuel.

## IV-3- Lésions professionnelles par irradiations internes: =====

Ces lésions peuvent être extrêmement graves. Elles résultent de l'ingestion ou inhalation de radio-éléments ou de poussières radio-actives. Comme la précédente, la contamination interne peut être unique et importante ou répétée à des doses plus faibles.



IV-3-1- L'incorporation unique, par blessure notamment, d'une substance radio-active peut être massive. C'est un accident heureusement rare, aux conséquences très sérieuses. Le radio-élément incorporé agit selon plusieurs facteurs que nous connaissons:

- . la quantité introduite,
- . la nocivité de son rayonnement,
- . sa toxicité chimique ou radio-active.

La substance radio-active incorporée se fixe électivement sur un organe appelé "organe critique", comme nous l'avons déjà signalé (p.       ).

Les troubles ressentis sont analogues à ceux de l'irradiation externe, mais certains seront électivement localisés.

Une contamination interne accidentelle importante nécessite une thérapeutique visant à éliminer le plus rapidement possible le radio-élément incorporé.

Les radio-éléments émetteurs  $\alpha$  sont les plus dangereux.

Prenons l'exemple du Plutonium, absorbé; son cycle dans l'organisme est voisin de celui du calcium. Il se fixe au niveau des os, provoquant des lésions (sarcomes ostéogéniques ou nécroses) et au niveau des organes hématopoïétiques, entraînant anémie, leucose, etc...

Le Strontium, émetteur  $\beta$ , se localise également dans le squelette.

#### IV-3-2- L'incorporation chronique:

Elle résulte d'une contamination constante ou de contaminations répétées au cours du travail. Elle est aussi très dangereuse. Il faut souligner le caractère continu de l'irradiation interne résultante, alors que



l'irradiation externe chronique professionnelle est dis-  
continue.

- Le cancer du poumon était autrefois très fréquent chez certains mineurs. Il peut également frapper les utilisateurs de radio-éléments, inhalant poussières ou gaz chargés de rayonnements  $\alpha$  .

Les observations sont nombreuses relatant des cas de cancer pulmonaire professionnel. Il exige un dépistage précoce. La surveillance du personnel exposé comporte obligatoirement des examens radiographiques ou radio-photographiques répétés selon un rythme dépendant de l'intensité des nuisances.

- Les cancers osseux professionnels sont également bien connus. Ils peuvent survenir après la contamination interne par le Radium (  $\alpha$  ), le Plutonium (  $\alpha$  ) et le Strontium (  $\beta$  ) dont la période est très longue.

Ce tour d'horizon des affections professionnelles par rayonnements ionisants a rappelé combien elles avaient été nombreuses et graves.

Elles sont devenues assez rares de nos jours, grâce à la mise en oeuvre de puissants moyens techniques, médicaux et réglementaires.

Mais le développement incessant des applications de l'Energie Atomique posent quotidiennement le problème de la protection des travailleurs exposés.



QUATRIEME PARTIE

PROTECTION - SURVEILLANCE MEDICALE



## I - LA PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS IONISANTS

### I-1- Généralités: =====

Lorsqu'un organisme a été irradié à une dose susceptible d'entraîner des lésions d'une certaine gravité, les moyens de traitement actuels sont très restreints. Une cellule lésée ne peut être restaurée; tout au plus peut-on aider un tissu à reformer des cellules, comme on tente de le faire avec des greffes. Pour se préserver des rayonnements ionisants, la seule mesure, et pour le moment du moins, la seule efficace, est la prévention physique. Cette dernière repose sur les données biologiques et pathologiques que nous avons décrites.

Toute personne exposée professionnellement aux rayonnements ionisants doit être informée, afin de connaître parfaitement:

- . les dangers qu'elle peut courir,
- . les procédés de signalisation de ces dangers,
- . les précautions à prendre au cours de son travail, en vue d'éviter ces dangers; par exemple: porter des vêtements de protection et savoir les enlever (en particulier les gants),

- . les techniques de manipulation propres à éviter toute irradiation inutile et toute diffusion de la contamination.

Elle doit aussi

- . connaître le maniement des appareils de détection individuels;

- . observer l'interdiction de fumer ou de man-



- . savoir décontaminer le matériel qu'elle utilise, dans la mesure de ses attributions et de ses moyens;

- . savoir stocker les sources radio-actives dont elle est responsable;

Elle doit être au courant:

- . des précautions à prendre afin d'éviter tout risque à l'entourage, en particulier en ce qui concerne les rejets,

- . ainsi que les mesures à mettre en oeuvre et la conduite à tenir en cas d'accident ou d'incident.

Enfin, elle doit se soumettre au contrôle physique et médical en vigueur et connaître les textes, les règlements, les consignes la concernant.

La protection efficace est assez facile, mais elle exige de la discipline, la connaissance exacte du danger et celle des moyens de protection.

Elle obéit à trois principes fondamentaux qui sont:

- . la limitation du danger d'exposition (rapidité d'action),

- . l'éloignement de la source (distance),

- . la protection matérielle (écrans).

Plusieurs autres facteurs peuvent également avoir une influence sur les mesures de protection.

## I-2- Règles de Protection

### I-2-1- Protection par éloignement:

L'intensité radioactive d'une source donnée varie comme l'inverse du carré de la distance; donc, le



danger disparaît si l'on s'en éloigne suffisamment. C'est pourquoi on manipule à l'aide de longues pinces ou grâce à des dispositifs commandés à distance.

### I-2-2- Protection par le temps de décroissance de l'intensité de l'élément radio-actif:

On ne peut subitement supprimer la radio-activité d'un corps radioactif; mais elle disparaît d'elle même selon sa durée de vie. Si cette période est assez courte, on peut attendre que l'intensité ait suffisamment décru avant d'intervenir.

### I-2-3- Protection par écran:

La nature des matériaux constituant les écrans de protection est fonction de la nature et de l'énergie des rayonnements auxquels on a affaire.

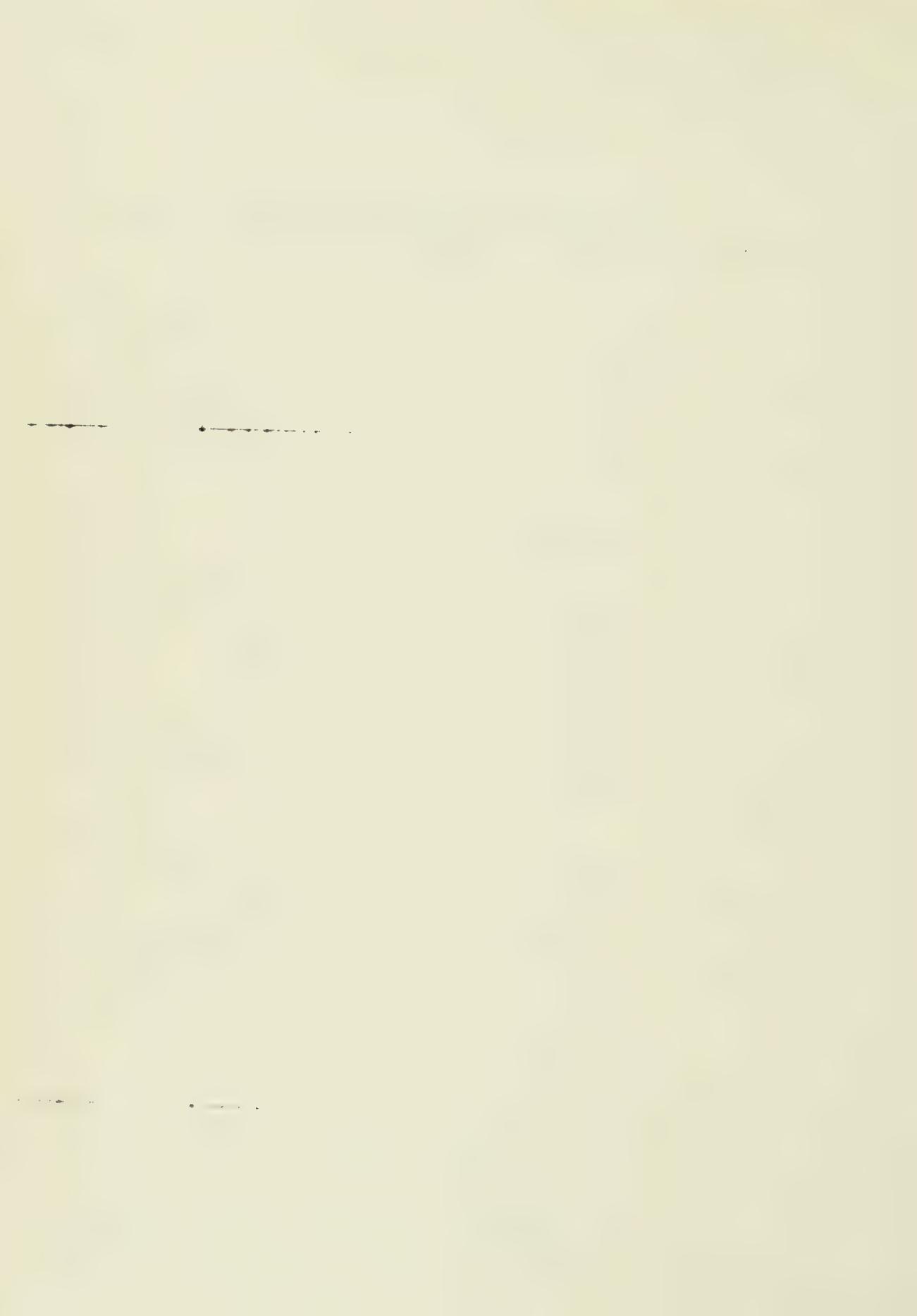
- Particules  $\alpha$  : N'importe quel matériau d'une épaisseur supérieure à 1/10e mm suffit à absorber ces particules.

- Particules  $\beta$  : Utilisation de matériaux légers, de façon à limiter le rayonnement secondaire, dit de "freinage" (le verre, l'aluminium, le plexiglas). Une épaisseur de quelques millimètres suffit généralement.

- Rayonnement  $\gamma$  : Utilisation de matériaux lourds (plomb, béton, acier, fer, eau).

- Neutrons rapides: Utilisation de matériaux riches en hydrogène (eau, paraffine, béton).

- Neutrons thermiques (neutrons de basse énergie): Absorption totale dans les écrans de bore ou de cadmium.



Ont également de l'importance:

- la forme géométrique de la source:
  - . source ponctuelle (faible volume)
  - . source plane (surfaces contaminées)
  - . source linéaire (barreaux de combustibles),
- la puissance de l'émetteur:

Les risques seront proportionnels à la puissance, c'est-à-dire au nombre de curies des matières radioactives en présence desquelles on se trouve.

### I-3- Balisages

L'O.T.A.N. a normalisé le marquage et le balisage des zones terrestres contaminées par les agresseurs chimiques, bactériens et nucléaires. Ce système est adopté par la Protection Civile.

Le Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A.) a adopté une signalisation des dangers d'irradiation et de contamination radio-actives, utilisant des affiches et affichettes, des signaux sonores et lumineux.

### I-4 - L'utilisation des moyens propres à assurer la prévention:

#### I Vis-à-vis du danger d'irradiation:

- Faire jouer la distance de la source et de la durée d'exposition.

- Employer au besoin la manipulation à distance par pince manuelle ou télé-manipulateur.



175

- Obtenir l'atténuation de l'intensité des rayonnements par des écrans appropriés (enceintes blindées, murs de béton empilements de briques de plomb).

#### I-4-2- Vis-à-vis du danger de contamination.

- Confiner les substances radioactives dans les enceintes étanches ou des boîtes à gants.

- Mettre en dépression les enceintes, boîtes à gants, laboratoires avec filtration à la sortie.

- Renouveler à une cadence suffisante l'air des laboratoires.

- Porter des tenues spéciales qui sont revêtues ou enlevées dans des vestiaires permettant la décontamination cutanée et la préservation des vêtements civils.

- Porter éventuellement les masques ou tout appareil respiratoire.

Avant la mise en fonctionnement des sources, il faut établir une réévaluation plus précise des risques:

- Elaboration des consignes de sécurité.

- Vérification de la mise en place et du fonctionnement des appareils de sécurité et des appareils détecteurs prévus.

- Pose des panneaux de signalisation de danger et des balises, des dispositifs d'avertissement sonores et lumineux.

En cours de fonctionnement, des mesures sont à prendre pour prévenir:

- . les risques qui n'ont pas été prévus et qui apparaissent à l'usage, en particulier les risques révélés par les



accidents ou les incidents, à l'occasion desquels une enquête doit être obligatoirement faite;

. les risques dûs à des opérations sortant de la pratique courante.

Les travaux en présence de rayonnements ou de produits contaminants font l'objet d'une "demande d'avis" de la part des utilisateurs et d'un "avis" délivré par le service de protection.

#### 1-5 - Le contrôle =====

Le contrôle a pour but de vérifier si les consignes de sécurité sont effectivement appliquées et si elles sont efficaces. Les chefs de service en sont responsables. Les techniciens de la sécurité ont reçu une formation spéciale. Ces agents sont chargés de déceler les problèmes de protection, de les résoudre selon les directives de leurs chefs, de donner ou de transmettre aux utilisateurs les conseils voulus, d'assister personnellement aux manipulations délicates, de veiller au stockage sur des sources.

L'ensemble de ces fonctions constitue ce qu'on appelle la surveillance. Les agents qui l'effectuent n'appartiennent pas au service qu'ils surveillent; leur indépendance est donc totale.

Le danger de la radio-activité échappant à nos sens et étant proportionnel à la quantité de rayonnements susceptible d'être reçue, l'efficacité de la prévention ne peut être vérifiée que par des appareils de mesure de dose, d'intensité d'exposition, d'activité, .... C'est ce qu'on appelle le "contrôle physique". Il est individuel et collectif.



Le contrôle individuel consiste à relever les doses reçues à l'aide de détecteurs portés par l'agent: ce sont les dosimètres. Ce peut-être un film photographique porté à la poitrine et au poignet. Chaque fois qu'il y a un danger précis d'irradiation, le manipulateur reçoit un stylo ou un film X, ou un film neutrons rapides. On peut aussi, selon les cas, contrôler la contamination des mains, des vêtements de travail, des chaussures ....

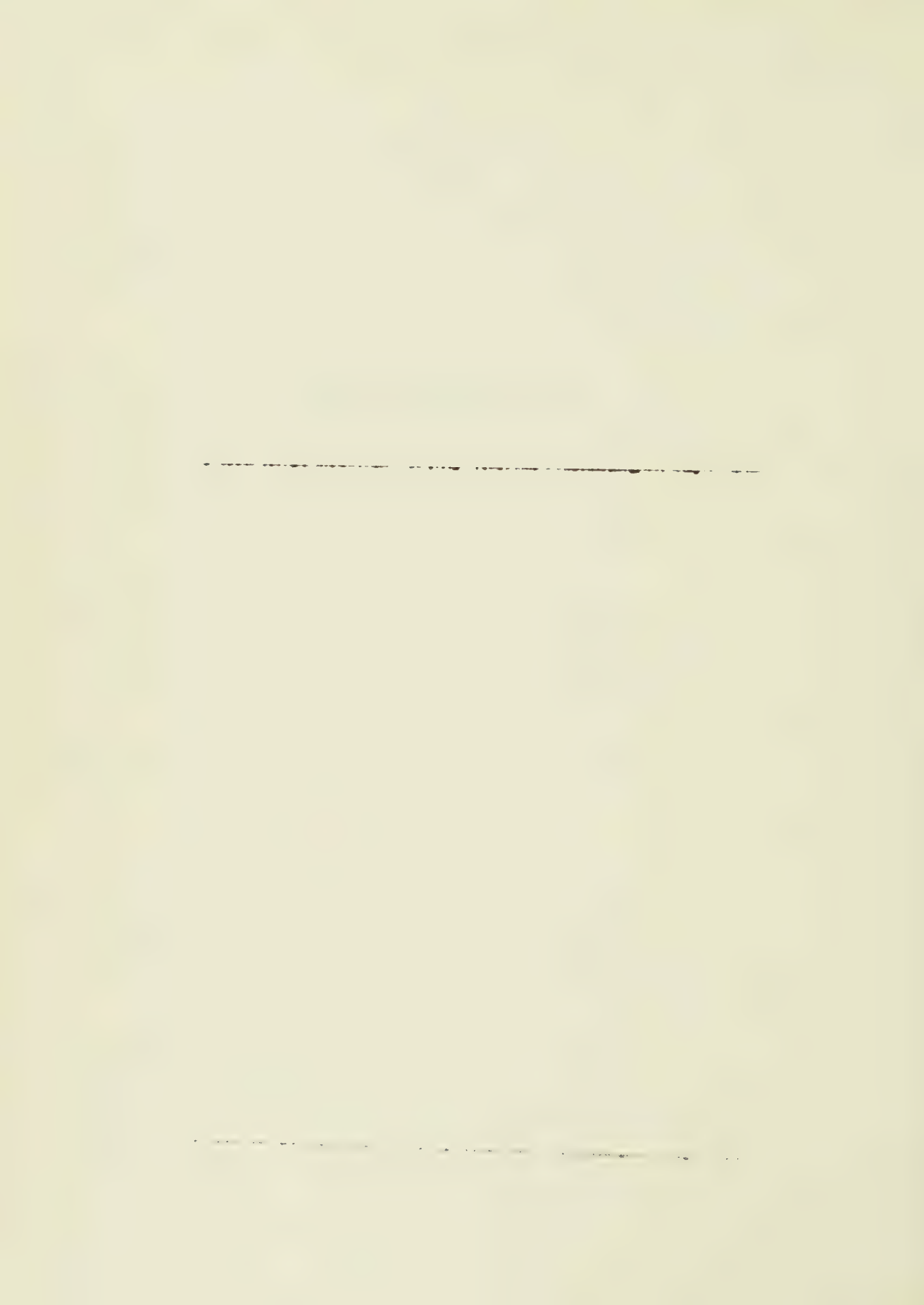
Le contrôle collectif: on utilise des détecteurs fixes pour le contrôle des lieux de travail, ainsi que pour l'alentour, et on mesure ainsi l'irradiation ambiante, la contamination des surfaces (parois, parquets, sols), l'activité des effluents rejetés.

Les agents de contrôle se répartissent ces tâches. Ce sont eux qui notent les doses reçues et rechargent les stylos dosimètres, relèvent les indications des détecteurs fixes et procèdent à toutes autres mesures nécessaires.

Les résultats sont soigneusement placés aux archives.

Nous voulons passer rapidement en revue le matériel et les équipements utilisés pour la radio-prévention:

I-5-1- En ce qui concerne les équipements individuels: on utilise des vêtements de travail spéciaux, des gants, des masques, des appareils respiratoires autonomes, des scaphandres ....



#### I-5-2- Le matériel de protection des manipulateurs:

Il consiste en des boîtes à gants étanches en dépression, le plexiglas de la paroi permet la visibilité et arrête les faibles rayons . Si leur émission est trop importante, on installe des enceintes blindées. La visibilité est alors assurée par des hublots de verre au plomb et les manipulations se font à l'aide de pinces à rotules.

#### I-5-3- Le matériel de balisage et de signalisation:

on utilise des bandes gommées sur le sol, des panneaux ou des étiquettes portant les symboles de dangers.

#### I-5-4- Les appareils de contrôle de radio-activité:

ils peuvent se classer en cinq catégories:

- Suivant le mode de détection: tels les films radiologiques, les plaques nucléaires, les chambres d'ionisation et les compteurs.

- Suivant la nature du rayonnement détecté ou mesuré: les trois rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  peuvent être détectés par un même appareil ou des sondes convenables. On peut très souvent séparer les  $\alpha$  du total  $\beta + \gamma$  par l'emploi d'un écran amovible arrêtant les  $\alpha$ .

- Suivant le résultat obtenu

- . soit la dose de rayonnement intégré dans un certain temps (par exemple Roentgen),
- . soit l'intensité d'exposition du rayonnement ou débit de dose (Roentgen/Heure),
- . soit l'activité (nombre de désintégrations/seconde),
- . soit le flux (nombre de photons, de neutrons à la seconde par cm<sup>2</sup>)



- Suivant leur disposition ou leur maniement:  
ce sont les détecteurs de dosimétrie individuelle portés en permanence par les opérateurs:

- . appareils portatifs,
- . appareils mobiles,
- . appareils fixes.

- Suivant le danger que l'on veut détecter et l'utilisation finale. Ce sont les:

- . détecteurs d'irradiation ( $\alpha$ ,  $\beta$ , neutrons)
- . détecteurs de contamination.

1-5-3- Enfin les matériels de collecte et de transport des effluents et déchets actifs:

Ils ont été spécialement étudiés et réalisés.

- Pour les effluents, il en existe 2 types:

. le premier, de grande capacité, est fixé sur remorque; la protection équivaut à 28 cm de plomb et l'ensemble pèse 42 tonnes.

. Le deuxième comprend 4 modèles de petite capacité pouvant être transportés sur camion.

- Pour le transport des déchets, on a réalisé une semi-remorque étanche de charge utile 21 tonnes.

On conclut de ce chapitre, on retiendra que les appareils de contrôle, de mesure et d'alarme sont très sensibles et suppléent à l'impossibilité pour l'Homme de détecter le danger radio-actif. Cependant, il faut savoir les utiliser et penser à la faire.



## II - LES PRINCIPES DE SURVEILLANCE MEDICALE

### DU PERSONNEL EXPOSE AUX RADIATIONS IONISANTES

Les principes que nous désirons présenter dans leurs généralités seront utiles à connaître ou à être rappelés, pour tous ceux qui participent à la surveillance médicale des agents exposés, en particulier aux Médecins du Travail intéressés. Ils font l'objet de textes très précis, auxquels nous renvoyons nos lecteurs (Protection des Travailleurs contre les Rayonnements Ionisants -Décret n° 67-228 du 15 Mars 1967).

La surveillance médicale commence lors de la visite d'embauche et se continue par les visites périodiques: visites de contrôle et examens complémentaires.

#### II- 1 - Examen médical d'embauche: =====

Son déroulement se fait selon les règles habituelles, mais doit être orienté selon le futur poste confié au candidat. Le médecin examinateur doit avoir pour cette raison la "Fiche de Poste" établie par le chef de service ou Ingénieur de Sécurité. Le modèle présenté ci-joint est celui d'un Centre d'Etudes Nucléaires; il devra être adapté à chaque type d'établissement industriel. Il comprend un interrogatoire du candidat, très détaillé, qui doit porter notamment sur:

- les antécédents pathologiques personnels ainsi que familiaux;



- les antécédents professionnels: en particulier les postes occupés chez les précédents employeurs, les accidents du travail, les maladies professionnelles;

- enfin les antécédents "d'irradiation", irradiations subies soit à titre médical (radio-diagnostic, radiothérapie, épreuves fonctionnelles ou utilisations thérapeutiques de radio-éléments, etc...), soit à titre professionnel.

L'examen clinique, très minutieux, doit être complété par:

- une radiographie pulmonaire,
- des examens biologiques,
- des examens spécialisés.
- un téléthorax standard est obligatoire.

Certains examens biologiques sont légalement nécessaires (Titre II, ch. III, art. 28), tels:

- . Numération et formule globulaire
- . Taux d'hémoglobine
- . Numération des plaquettes
- . Temps de saignement, temps de coagulation
- . Signe de la ventouse
- . Hématocrite
- . Urée sanguine
- . Recherche de sucre et d'albumine urinaires.

D'autres examens sont faits à la demande (ch. III, art. 29), tels:

- . Tests et épreuves fonctionnelles hépatiques et rénales
- . Sérologie de la syphilis
- . Test biologique de la grossesse ....



Certains examens de spécialités sont systématiques (ch. III, art. 28), à savoir:

. un examen de contrôle ophtalmologique pour les candidats éventuellement exposés aux risques d'irradiations aux rayons X,  $\gamma$ , neutrons, particules accélérées;

. un examen O.R.L. et une exploration fonctionnelle pulmonaire, pour les candidats devant travailler en "zone chaude" où existent des risques de contamination interne par inhalation.

. On peut ajouter le contrôle spectrométrique du corps entier et diverses recherches radio-toxicologiques si l'on estime nécessaire de faire le bilan d'une contamination médicale ou professionnelle antérieure.

Après un tel bilan, l'aptitude du candidat sera acquise si tous les résultats sont normaux.

A noter que l'état de grossesse constitue une contre-indication temporaire et que les candidats doivent être âgés de plus de 18 ans.

## II-2 - Visites médicales après embauche: =====

La surveillance du personnel exposé aux radiations ionisantes doit être à la fois collective et individuelle.

La surveillance collective s'exerce sur les lieux de travail, dans les différentes installations. Elle doit être systématique et utilise des appareils de détection instantanés ou non, munis, lorsque cela est



nécessaire; de système d'alarme sonores et visuels. Le but de ces dispositifs, qui peuvent être fixes ou mobiles, est de mesurer d'une part les niveaux d'irradiation, d'autre part l'importance de la contamination avant tout atmosphérique en gaz et en poussières radio-actifs.

Cette surveillance collective, bien qu'étant du ressort de l'Ingénieur de Sécurité, ou, dans les établissements importants, du Service de Protection contre les Radiations, est du plus haut intérêt pour le Médecin du Travail qui doit être tenu au courant très régulièrement de l'ensemble des résultats de cette surveillance collective. Cette dernière vient en effet compléter la surveillance individuelle du travail qui incombe au Service médical.

La surveillance médicale doit permettre d'évaluer:

- l'irradiation subie par le travailleur, soit irradiation externe, soit contamination interne, soit les deux associés;

- les répercussions sur sa santé par le dépistage des premiers troubles somatiques éventuels.

Cette surveillance s'exerce toujours de façon systématique et parfois de façon exceptionnelle, en cas d'accident ou d'incident radio-actif.

L'évaluation aussi exacte que possible des doses cumulées par les personnes travaillant sous rayonnements est donc d'importance primordiale, de même les différents examens médicaux, tant cliniques que para-cliniques, et ce, d'autant plus que l'on s'approche des



valeurs-guides (doses maximum admissibles, normes de sécurité).

La surveillance médicale doit donc se proposer pour chaque travailleur:

1. d'évaluer l'irradiation externe qu'il subit;
2. d'évaluer la contamination qu'il subit;
3. de faire son bilan médical et de déceler, éventuellement, les dommages somatiques qu'il présente.

#### II-2-1- Evaluation de l'irradiation externe:

Cette évaluation doit se faire de façon permanente, afin de pouvoir connaître la dose d'irradiation cumulée par le travailleur, et, en cas d'accident ou d'incident, connaître, dans les délais les plus courts, son importance, afin de prendre toutes mesures utiles en temps voulu.

Cette évaluation individuelle de l'irradiation externe fait appel:

- . à des méthodes physiques dosimétriques,
- . à des méthodes de mesure directe de l'activité du corps humain (spectrométrie  $\beta$ ) ou radio-toxicologique.

##### - Les méthodes physiques dosimétriques:

C'est par le port continu de détecteurs individuels, judicieusement disposés, que se fait, avant tout, le contrôle de l'irradiation externe. Ces détecteurs sont de types divers, suivant la nature des rayonnements que l'on veut mesurer et l'importance du risque d'irradia-



tion auquel peut être exposé le travailleur.

Ces divers types de détecteurs sont les suivants:

= les émulsions photographiques: elles permettent, associées à des écrans adaptés, la dosimétrie des rayons X , , et neutrons thermiques (ou lents), par la mesure de leur noircissement.

Les porte-films les plus courants comprennent trois plages d'exposition:

- . une plage sans écran, pour les rayonnements  $\gamma$ ,
- . une plage avec double écran de cadmium pour les  $\beta$  et les neutrons thermiques,
- . une plage sous écran d'étain (50 Sn) possédant les mêmes propriétés absorbantes que l'écran de cadmium et arrêtant les rayonnements  $\beta$  . Sur cette plage, on enregistre les  $\gamma$  seulement.

L'écran de cadmium utilisé, de 7/10e de millimètre, absorbe la presque totalité des neutrons thermiques incidents, l'émission de rayonnements  $\gamma$  impressionne et noircit l'émulsion.

= les émulsions nucléaires: elles sont utilisées pour la dosimétrie des neutrons rapides; ceux-ci produisent, dans la matière hydrogénée de l'émulsion ou le support placé devant, des protons de recul dont les traces sont révélées au développement et comptées au microscope. Ces émulsions, qui ont la forme et les dimensions des films, peuvent être disposées dans les porte-films.

= les stylos dosimètres: trois types existent



. stylo à lecture directe: son principe réside dans la décharge d'un électroscope initialement chargé par les ions formés dans la micro-chambre; leur domaine de sensibilité varie de 0 à 1 000 roentgens; généralement pour les travaux à faible niveau de radiations, le stylo utilisé va de 0 à 20 mr. Ces stylos à lecture incorporée sont très utiles pour le travailleur qui peut ainsi vérifier régulièrement la dose d'irradiation qu'il subit.

. stylo à lecture indirecte: dans ce cas, c'est un condensateur initialement chargé qui se décharge sous l'action des rayonnements ionisants. Ce stylo est à lecture séparée. Sa gaine de bakélite permet son utilisation pour la dosimétrie X et  $\gamma$ .

. stylo à paroi de Bore: le revêtement interne de Bore du stylo permet la dosimétrie aux neutrons thermiques.

#### = Les autres types de dosimètres:

Certains sont basés sur le phénomène d'activation; ils utilisent des pastilles d'or, de soufre, d'indium; ces corps, sous l'influence de flux neutronique, s'activent.

De tels dosimètres, dits de "criticité", ne sont utilisés que lorsqu'il existe des risques d'irradiation importante pour neutrons.

D'autres dosimètres exploitent les propriétés des solides irradiés: verre, thermoluminescence, etc... Ils évitent les réponses chimiques et les variations d'énergie; de plus, ils présentent une large gamme de lecture.



- Les méthodes spectrométriques ou radio-toxicologiques:

Ce sont des méthodes utilisées pour la mesure d'une irradiation externe reçue en cas d'incident ou d'accident radio-actif comportant une irradiation par neutrons. Les neutrons thermiques, résultant du ralentissement des neutrons rapides, donnent des corps radio-actifs induits tels  $^{32}\text{P}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{41}\text{K}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ , etc...

Ce sont surtout les  $^{32}\text{P}$  et les  $^{24}\text{Na}$  qui sont les plus intéressants pour le Médecin du Travail, car leur mesure permet d'évaluer l'importance de l'irradiation par neutrons et connaître dans une certaine mesure sa localisation.

- Le sodium 24: se mesure par méthode radio-toxicologique dans le sang et les urines, mais ici la méthode de choix est "l'examen spectrométrique corps humain". Il s'agit d'une méthode très sensible (seuil de sensibilité 500 m rem. Le Sodium 24 a une courte période effective, de l'ordre de 12 heures; l'examen doit être réalisé le plus tôt possible et ce d'autant plus que l'irradiation est faible.

- Le Phosphore 32: se mesure dans le sang, les urines et éventuellement par "examen spectrométrique corps humain". L'utilisation de la résistance  $^{32}\text{S}$  (n.p.)  $^{32}\text{P}$ , la plus intéressante, permet une localisation de l'irradiation dans une certaine mesure. Les poils et phanères ont une composition constante en soufre. La prise d'échantillon faite au niveau des différentes zones pileuses du corps et leur analyse en  $^{32}\text{P}$  peuvent permettre l'obtention de renseignements intéressants.

Il est parfois très important, en cas d'accident, de mesurer la radio-activité induite de certains



objets métalliques en cuivre, nickel, etc... porté par le travailleur (bridge, médaille, alliance, boutons métalliques, pièces de monnaie ...); ceci dans le but d'évaluer la dose d'irradiation par neutrons reçue par l'intéressé. Ces mesures doivent être effectuées très rapidement, en raison de la courte période physique de la plupart des radio-éléments.

Le port permanent d'un ou plusieurs dosimètres est indispensable pour l'évaluation de la dose d'irradiation externe reçue par le travailleur.

Les résultats dosimétriques sont comptabilisés sur une fiche individuelle d'irradiation, dont la surveillance permet au Médecin du Travail de prendre la décision d'exclure, pour une période déterminée, toute personne dont la dose d'irradiation est égale ou supérieure aux normes de sécurité.

## II.2-2- Evaluation de la contamination:

### La contamination externe:

Le contrôle de la contamination externe est généralement aisé. Il fait appel soit à des compteurs Geiger-Müller, soit à des compteurs à scintillation pour les  $\gamma$ . Le contrôle de la contamination externe est fait sur les lieux de travail, par les intéressés eux-mêmes ou par le personnel du Service de Protection.

Les contaminations décollées sur peau saine sont généralement bénignes et partent aisément avec un savonnage minutieux à l'eau tiède, avec une brosse à poils souples. Lorsque la décontamination ne peut être réalisée par ce moyen simple mais efficace, elle devient alors du ressort du service médical.



Lorsque la contamination se fait sur une blessure, elle constitue une urgence médicale en raison de la contamination interne qu'elle entraîne. Le nettoyage chirurgical de la plaie et sa décontamination est un temps thérapeutique capital.

- Méthodes d'évaluation de la contamination interne:

Ces méthodes sont de deux types:

- . Les examens radio-toxicologiques
- . les examens spectrométriques

= Les examens radio-toxicologiques:

Ils portent sur divers milieux biologiques

. prélèvements nasaux: d'exécution facile, ces examens peuvent être répétés facilement. Les examens positifs ont une valeur significative; ils sont le témoin d'une inhalation de poussières radio-actives.

. Salive et sueur: ce type d'examen est peu utilisé, car nous ne savons rien des rapports existants entre l'activité de l'échantillon et la charge corporelle. La seule exception est celle de l'eau tritiée, mais dans ce cas il est plus commode de faire un examen des urines.

. Crachats: L'examen auto-radiographique des crachats présente un intérêt en cas d'accident de contamination par inhalation de poussières insolubles émettrices  $\alpha$  pur. La positivité de cet examen affirme la persistance, au niveau du poumon, de la contamination interne.

. Air expiré: l'examen radio-toxicologique de l'air expiré est utilisé pour la mesure du radon et du thoron.



. Sang: l'examen sanguin (hématies ou plasma) n'est pas utilisé comme examen de surveillance systématique; il peut être éventuellement utile en cas d'accident.

. Urine: C'est le matériel biologique le plus utilisé pour effectuer le contrôle de la contamination interne des travailleurs. Le volume minimum de l'échantillon nécessaire à l'examen est très variable: il va du 1/10e de cc pour l'uranium naturel au litre pour le plutonium 239.

II est très difficile, pour les travailleurs, de collecter la totalité des urines de 24 heures; reste alors la possibilité de faire simultanément un dosage de la créatinine dans l'échantillon, et par une règle de trois, calculer approximativement l'excrétion urinaire des 24 heures. La plupart des examens radio-toxicologiques sont de technique délicate et demandent un temps assez long.

. Selles: l'estimation de la quantité de radio-nucléides éliminés dans les quatre jours suivant l'accident permet d'évaluer approximativement celle retenue au niveau du poumon, dans le cas où les radio-nucléides ne sont pas absorbés au niveau du tube digestif, (cas d'inhalation d'un composé insoluble).

= Les examens spectrométriques  :

Le dispositif utilisé pour cet examen est un détecteur à scintillation constitué par un cristal d'iodure de sodium, activé au thollium de grande dimension (20 cm de diamètre et 10 cm de hauteur); ou un système à plusieurs cristaux plus petits, photomultiplicateur, pré-amplificateur, amplificateur et sélecteur "multicanaux".



. Examen spectrométrique localisé: Lorsque le radio-nucléide est localisé dans un organe ou une plaie, on procède à un examen localisé qui présente un grand intérêt: c'est le cas de l'examen spectrométrique  $\beta$  du corps thyroïde, en cas de contamination interne à l'iode radio-actif, ou de l'examen d'une plaie contaminée au plutonium 239, pour mettre en évidence les X faiblement énergétiques émis.

. Examen spectrométrique  $\beta$  généralisé: dans ce cas, on procède à une mesure globale de l'activité de l'organisme et l'on obtient un spectre.

Le spectre du sujet normal comprend deux pics: celui du potassium 40 et celui du césium 137.

Cet examen est pratiqué de façon systématique à rythme variable (trimestriel ou annuel) chez les travailleurs exposés à un risque de contamination interne par radio-éléments émetteurs X ,  $\alpha$  ou  $\beta$  dur.

L'évaluation de la contamination, surtout lorsqu'elle est interne, est chose délicate, et il faut bien l'avouer imprécise souvent.

L'étude de cette évaluation permettra au médecin du Travail, en application des "normes de tolérance", de prendre les décisions d'exclusion temporaire ou définitive sous rayonnements chaque fois que ces mesures seront nécessaires.

## II.-3 - Bilan médical :

=====

Le bilan médical ne peut mettre en évidence de troubles somatiques liés aux rayonnements: cette notion



est très importante et doit être toujours présente à l'esprit du Médecin du Travail.

Il faut souligner l'importance des visites médicales dans le domaine du dépistage et de la prévention. Le rythme de ces visites est prescrit par les règlements, mais le médecin responsable a toute liberté pour effectuer des contrôles plus fréquents s'il l'estime nécessaire.

#### II-3-1- L'examen radiologique du thorax:

Il est annuel, afin de réduire au minimum la dose d'irradiation localisée délivrée; on ne fait plus de radioscopie, mais un téléthorax ou une radiographie (7 x 7 ou 10 x 10); son intérêt est de fournir, de plus, un document archivable.

Certains examens de spécialité sont prescrits, tels: l'examen ophtalmologique, indispensable pour les techniciens exposés aux rayons X ,  $\gamma$  et aux neutrons.

L'examen O.R.L. est annuel; il est nécessaire pour surveiller les travailleurs exposés aux risques de contamination.interne.

#### II-3-2- Les examens biologiques obligatoires:

- Formule et numération globulaires,
- Numération des plaquettes,
- Taux d'hémoglobine,
- Temps de saignement,
- Temps de coagulation,
- Signe de la ventouse.



Ce bilan précédemment décrit constitue le seul moyen de surveillance médicale du personnel exposé aux variations ionisantes, et les altérations présentées par la formule et numération globulaire sont systématiquement considérées comme d'origine professionnelle. Il s'agit là d'hypothèses que certains "experts" n'admettent pas.

L'interprétation des variations de la formule et de la numération globulaire peut être difficile, en raison des nombreux facteurs d'ordre non professionnels susceptibles de les modifier:

- . facteur individuel constitutionnel,
- . facteur temps: horaire de prélèvement
- . facteurs physiologiques: fatigue physique, grossesse, fatigue intellectuel, digestion ....
- . facteurs médicamenteux, de plus en plus inquiétants.
- . facteurs pathologiques: infections diverses, affections virales, atteintes parasitaires ...
- . facteurs immunologiques.

Bien entendu, les techniques de laboratoire seront rigoureuses, les examens répétés, les examens complémentaires nécessaires demandés. Ces conditions remplies, l'examen hématologique conserve toute sa valeur. Sa périodicité est fixée par les règlements.

En cas d'accident grave d'irradiation, l'étude des modifications de l'activité médullaire est nécessaire. Elle comporte une ponction sternale qui pourra mettre en évidence une moëlle plus ou moins pauvre, et deux examens spéciaux: l'incorporation du <sup>59</sup>Fe dans les hématies et l'indice mitotique, qui donnent des renseignements plus nuancés sur l'atteinte médullaire.



L'indice mitotique détermine le pourcentage des cellules médullaires nucléées en mitose (normalement 9 %); ce pourcentage décroît rapidement après irradiation.

Le test d'incorporation de <sup>59</sup>Fe dans les hématies témoignent de la synthèse de l'hémoglobine et de la production d'hématies dans les jours suivant l'irradiation.

#### II-3-3- Autres examens sanguins:

- Groupe sanguin, pour information, contrôlé à deux reprises et effectué chaque fois en double contrôle;
- B.W.: fait à la demande du Médecin du Travail;
- Urée sanguine: examen systématique annuel.

#### II-3-4- Examens urinaires:

- recherche de la glycosurie et de l'albuminurie font partie des recherches usuelles en Médecine du Travail.
- Amino-acidurie: le dosage des acides aminés urinaires s'impose en cas d'irradiation, car l'étude de leur augmentation permet d'apporter des éléments de pronostic.
- L'examen du sperme: peut être également intéressant à faire: on peut observer une diminution du nombre des spermatozoïdes pour aller jusqu'à l'azoospermie, à la fin des quinze jours qui suivent l'irradiation; elle est en général transitoire.
- Les examens chromosomiques et enzymatiques: ils ne sont cités que pour mémoire, car ils sont encore du domaine de la recherche.



### II-3-5- Les examens complémentaires:

- L'exploration fonctionnelle respiratoire: apporte des éléments d'appréciation chez les travailleurs exposés aux poussières et gaz radio-actifs.
- L'électro-encéphalographie: permet la constatation, en cas d'accident par irradiation, de perturbations électriques touchant des processus cérébraux de conduction nerveuse.
- La comparaison des empreintes digitales d'un sujet dans le temps a permis de constater des modifications portant sur les crêtes papillaires. Ce sont des radio-lésions cutanées élémentaires pouvant aboutir à l'effacement des empreintes digitales.

C'est au Médecin du Travail qu'il appartient de faire la synthèse des résultats et de prendre une des décisions suivantes:

- . prononcer l'aptitude sans restriction au poste de travail, ou bien sous réserve d'une surveillance médicale spéciale;
- . déclarer le sujet inapte temporaire ou définitif.

Il est important d'attirer l'attention sur la responsabilité administrative du Médecin du Travail touchant l'établissement et la conservation du dossier médical. D'après les directives de l'EURATOM applicables en France: "Il est établi pour chaque travailleur un dossier médical tenu à jour, qui sera conservé en archives pendant la durée de vie de l'intéressé, et, en tout cas, pendant au moins trente ans après la fin du travail exposant aux radiations ionisantes".

(Titre II, ch. III, art. 30).



C O N C L U S I O N S



L'idée de notre travail est venue de la fréquence de l'utilisation des Rayonnements Ionisants dans l'Industrie Pétrolière et des possibilités d'accidents qui en seraient la conséquence.

Il s'agit là d'une spécialisation très poussée de la technique dans ce secteur industriel particulièrement important en Algérie. Le nombre des forages est sans cesse en augmentation, que ce soit sur les champs connus, tels Hassi-Messagud, In Amenas ..... pour le pétrole, ou Hassi Rmel pour le gaz, ou dans des secteurs encore vierges tels ceux récemment attribués par la SONATRACH à des Compagnies étrangères.

La production suit aussi une marche ascendante. L'évacuation du pétrole ou du gaz ne peut se faire que par pipe-lines; ceux actuellement en service seront rapidement insuffisants et de nouveaux sont déjà en chantier. Pour atteindre la côte, les distances sont considérables.

Les tubes en acier sont soudés les uns aux autres et chaque soudure est vérifiée par la gammagraphie. On imagine l'importance de cette technique. C'est l'utilisation principale des Rayonnements ionisants, nous en avons parlé longuement.



Nous avons donc pensé faire oeuvre utile en exposant les techniques d'applications des rayonnements ionisants, d'en rappeler les dangers et de préciser les règles de protection et consignes de prévention des accidents éventuels.

Il nous est apparu nécessaire d'effectuer un rappel de la nature des rayonnements ionisants, de leur origine, les unités de mesure, les doses admissibles; un rappel également de leurs propriétés physiques et biologiques, des effets somatiques et génétiques actuellement connus. Enfin, nous avons décrit les différents moyens de détection généralement utilisés.

Nous avons ensuite passé en revue les utilisations des rayonnements ionisants dans certaines applications industrielles: en Biologie et Biochimie, en Médecine (en excluant cependant les applications radiologiques), en Agronomie, en Archéologie.

Nous avons atteint le chapitre principal et exposé les utilisations multiples des radio-éléments dans l'Industrie Pétrolière.

Le pétrole est tout d'abord recherché en surface, géologie, sismiques, etc...., puis en profondeur par les forages d'exploration. Depuis sa découverte sous forme de brut jusqu'au raffinage, le pétrole subit de nombreuses transformations. Il est sûr que pour faciliter la tâche des pétroliers, l'utilisation des rayonnements ionisants est une aide précieuse. Ainsi avons-nous dressé un



un tableau, nécessairement schématique, de cette utilisation des radiations ionisantes dans l'Industrie Pétrolière.

Les plus nombreuses applications concernent les stades suivants: la Prospection, ou Recherche du pétrole, le Forage d'Exploration, la Production (gaz et eau marqués), les moyens de transport massif: pipe-lines, enfin le Stockage et le Raffinage.

Au cours du forage d'exploitation, les radio-éléments ne sont pas très utilisés.

Dans cette deuxième partie de notre travail, nous avons particulièrement détaillé les principaux outils radio-actifs utilisés dans ce secteur industriel: le Gamma-Ray, le carottage neutron, le rayonnement  $\gamma$  secondaire, ainsi que les techniques de la gammagraphie et des traceurs et indicateurs radio-actifs, dans le chapitre "Moyens de transport par pipe-lines".

L'utilisation des rayonnements ionisants n'est pas sans risques. Quels dangers représente-t-elle pour l'Homme? C'est ce que nous avons décrit dans la Troisième partie de notre thèse.

Nous avons d'abord exposé les modes de répartition dans l'organisme des radio-éléments lors d'une contamination interne, ensuite nous avons essayé d'envisager les différentes lésions provoquées par une exposition aux rayonnements ionisants: les altérations cutanées: érythèmes, radio-dermites et complications de celles-ci;



L'atteinte des cellules normales du sang et des organes hématopoïétiques lors d'une irradiation unique ou lors d'une irradiation répétée; les effets génétiques (atteinte des chromosomes, altération du chromosome Y); enfin l'action sur la gamétogenèse et la glande interstitielle du testicule et de l'ovaire.

Nous avons étudié les risques professionnels par irradiations externes et internes, en discriminant les effets de dose unique et de doses répétées.

Enfin, la dernière partie traite de la Protection et de la Surveillance Médicale des travailleurs exposés à ces rayonnements. C'est elle qui doit intéresser tout spécialement les médecins chargés de la surveillance de ces personnes et c'est dans cette intention que nous l'avons développée plus longuement.

Nous avons d'abord rappelé tout ce qui touche à la Radio-protection: matériel, équipements, contrôle, ainsi que les textes réglementaires. Enfin, ayant exposé les principes de surveillance médicale du personnel, nous en avons décrit la pratique, c'est-à-dire: l'examen médical d'embauche, les visites médicales après embauche, avec évaluation de l'irradiation et le bilan médical.

Pour être complet, nous avons placé en Annexe le tableau 6 des Maladies Professionnelles indemnisant les affections provoquées par les rayonnements.

En Annexe également, nous avons cité un exemple de consignes données et de précautions prises à l'occasion d'une utilisation (assez exceptionnelle) d'une source radio-active.



A N N E X E S

CAMPAGNE D'INJECTION DE GAZ TRITIE SUR LE CHAMP

D'HASSI MESSAOUD-SUD

TABLERAU VI DES MALADIES PROFESSIONNELLES INDEMNISANT LES  
AFFECTIONS PROVOQUEES PAR LES RAYONNEMENTS  
IONISANTS.



Une campagne d'injection de gaz tritié (traceurs radio-actifs) a démarré en Août 1972, sur le champ d'Hassi Messaoud Sud. Les produits manipulés sont des hydrocarbures marqués au Tritium. (Méthane, éthane, etc...), fournis sous forme d'ampoules.

Le risque radio-actif est minime pour l'organisme. Il ne peut être que respiratoire. C'est en particulier l'éventualité qui pourrait survenir d'ampoules stockées trop longtemps, car une certaine quantité (10 % par exemple) de tritium-gaz pouvait apparaître dans l'ampoule du fait de la radiolyse du produit initial. L'échange isotopique de ce tritium avec la vapeur d'eau atmosphérique ou pulmonaire étant plus important, la contamination interne pourrait devenir significative.

Il est intéressant de lire les consignes données au personnel, ne serait-ce que pour apprécier les précautions prises malgré le peu de danger réel.

1) Les personnes chargées du stockage ou de la manipulation des traceurs radio-actifs doivent passer une visite médicale préalable et être soumises tous les trois mois à un contrôle médical.

2) Ne peuvent effectuer les manipulations que les personnes reconnues aptes par le service médical.

3) Le stockage des radio-éléments est placé sous la responsabilité du service de Réinjection-puits.

4) Le local de stockage des radio-éléments doit être maintenu fermé à clé. Un double de cette clé sera remis au chef du service de sécurité.



5) Toute personne pénétrant dans l'abri de stockage des radio-éléments devra porter l'équipement de sécurité jusqu'à ce qu'un contrôle d'atmosphère ait démontré l'absence de risque.

6) Les mouvements de radio-éléments ne sont effectués que par l'opérateur désigné à cet effet. Il tient à jour le registre des entrées et sorties des ampoules.

7) En cas d'accidents, il y a lieu d'interdire l'accès des abords du stockage et de prévenir l'ingénieur responsable et le secteur de sécurité.

8) Lors de leur transport, les radio-éléments seront placés obligatoirement à l'extérieur de la cabine du véhicule transporteur.

9) Le véhicule transporteur sera muni à l'arrière et sur les deux côtés des panneaux réglementaires de signalisation indiquant la nature du transport.

10) Il est interdit de transporter avec les radio-éléments des substances explosives, inflammables, corrosives, oxydantes, pyrophoriques ou combustibles ainsi que des gaz comprimés ou liquéfiés. Il est également interdit de transporter des passagers sur la plate-forme recevant les produits radio-actifs.

11) Le véhicule transporteur dispose:

- d'un détecteur d'atmosphère en ordre de marche et d'équipements de protection (avec deux appareils respiratoires en circuit fermé);

- d'une nourrice d'eau;

- de deux panneaux mobiles de signalisation "interdiction de stationner - Danger radio-actif" (à utiliser en cas d'accident).



12) Lors de la manipulation des radio-éléments, l'accès du chantier pendant l'injection des radio-éléments est strictement interdit à toutes personnes étrangères à l'opération.

13) L'ouverture des boîtes serties et la suite de l'opération sont effectuées par un opérateur muni des vêtements et équipements de protection: bottes, gants, pantalon, anorak en P.C.V. et appareil respiratoire isolant. Dans le cas où l'ouverture des boîtes serties est effectuée sous cloche étanche, seul le port de gants est obligatoire.

14) L'appareil d'injection de traceurs radio-actifs n'est mis en pression qu'après contrôle du verrouillage du piston. Lors de cette mise en pression, aucune personne ne doit se trouver face à la porte de l'appareil.

15) Aucune opération par puits n'est entreprise dans les deux heures suivant l'injection des traceurs radio-actifs. Si besoin est, il y a lieu de procéder à un contrôle d'atmosphère dans la chambre d'injection pour s'assurer de la disparition de toute trace de gaz radio-actif.

16) Aucune personne ne se tient à moins de 10 mètres des opérateurs procédant à l'ouverture des emballages, à la mise en place ou à la récupération des débris, à moins d'être équipé des appareils et vêtements de protection. Dans tous les cas, les assistants se tiendront au vent des radio-éléments.

17) Les emballages sont récupérés dans des sacs en matière plastique qui sont ensuite enfouis.

18) En cas de bris accidentel, des ampoules d'hydrocarbures tritiés, les consignes sont les suivantes:



- . s'éloigner immédiatement à plus de 10 mètres et en se tenant au vent des radio-éléments;

- . interdire l'approche des débris à toute personne non munie des équipements de protection;

- . laisser s'écouler au minimum dix minutes avant de manipuler les débris, même si l'opérateur est équipé des appareils et vêtements de sécurité;

- . ne jamais abandonner les débris sans surveillance

19) En cas de coupure par le verre des ampoules, il y a lieu de:

- . faire saigner la blessure et la laver immédiatement à l'eau courante et conduire le blessé à l'infirmerie, après lui avoir enlevé ses vêtements de protection

20) Dans tous les cas, qu'il y ait blessure ou non, il est nécessaire de contrôler, à l'aide d'un détecteur d'atmosphère, s'il y a eu contamination des vêtements.

21) La décontamination éventuelle est effectuée sommairement à l'eau pulvérisée avant que l'opérateur n'ôte ses équipements de protection. Ceux-ci, ôtés, ils sont aérés et arrosés abondamment, jusqu'à ce que le contrôle d'atmosphère révèle la disparition de toute radio-activité résiduelle.

22) Dans tous les cas, l'opérateur victime de l'incident est soumis à un examen médical.

23) En cas d'accident, l'ingénieur responsable est immédiatement informé, ainsi que le chef du secteur de sécurité.



Le rôle du Médecin du Travail dans cette Campagne doit être le suivant:

Apprécier l'aptitude des personnes employées à l'opération: examen clinique et critères hématologiques habituels, éventuellement recherches urinaires (en cas d'accident). C'est-à-dire adresse d'urgence des échantillons d'urines au Chef du Laboratoire de Physique Médicale et de Radio-Toxicologie (Service médical de Saclay). Les échantillons d'urines n'ont pas besoin d'être importants. Le transport de ces flacons se fait par avion et ils n'ont pas besoin d'être déclarés comme matériel radio-actif.



"TABLEAU VI"

ANNEXE II

Les maladies professionnelles causées par les rayonnements ionisants sont à déclarations obligatoires:

1/ Seuls les troubles provoqués par les Rayons X et les radio-éléments peuvent constituer une "maladie professionnelle légale" et être indemnisables comme telle selon les dispositions du tableau n° 6 modifié par le décret du 1<sup>er</sup> Octobre 1960.

2/ Les autres troubles chroniques doivent être déclarés de même que les accidents aigus, sauf ceux considérés comme accidents de travail.



| Affections engendrées par les Rayons X ou les autres substances radionactives naturelles ou artificielles ou tout autre source d'émission corpusculaire                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Délai de prise en charge                                                                                                                                                                                                      | Liste indicative des principaux travaux susceptibles de provoquer ces maladies                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anémie progressive grave du type hypoplasique ou aplasique .....</li> <li>- Anémie progressive légère du type hypoplasique ou aplasique .....</li> <li>- Leucopénie avec neutropénie .....</li> <li>- Leucose ou états leucémoïdes .....</li> <li>- Syndrome hémorragique .....</li> <li>- Blépharite ou conjonctivite .....</li> <li>- Kératite .....</li> <li>- Cataracte .....</li> <li>- Lésions aigues chroniques de la peau ou des muqueuses .....</li> <li>- Radionécrose osseuse .....</li> <li>- Sarcome osseux .....</li> <li>- Cancer broncho-pulmonaire par inhalation ...</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>3 ans</li> <li>1 an</li> <li>1 an</li> <li>3 ans</li> <li>1 an</li> <li>7 jours</li> <li>1 an</li> <li>5 ans</li> <li>10 ans</li> <li>5 ans</li> <li>15 ans</li> <li>10 ans</li> </ul> | <p>Tous travaux exposant à l'action des Rayons X ou des substances radioactives naturelles ou artificielles ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraction et traitement des minerais radio-actifs</li> <li>- Préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radio-actifs</li> <li>- Préparation de substances radio-actives</li> <li>- Préparation et applications de produits luminescents radifères</li> <li>- Recherches ou mesures sur les substances radio-actives et les rayons X dans les laboratoires</li> <li>- Fabrication d'appareils pour Radium-thérapie et d'appareils à rayons X</li> <li>- Travaux exposant les travailleurs aux rayonnements dans les Hôpitaux, cliniques, dispensaires, cabinets médicaux, cabinets dentaires et radiologiques, dans les maisons de santé et les centres anti-cancéreux</li> <li>- Travaux dans toutes les industries ou</li> </ul> |



BIBLIOGRAPHIE



1 - Cahiers de Médecine Interprofessionnelle, N° 20 -  
Octobre 1965.

2 - COLINET C.

I.E.N.A. (Institut d'Etudes Nucléaires Algérien.

Protection Civile - Effets biologiques des  
Radiations ionisantes et protection;

3 - Collection de l'A.R.N.T.

4 - Collections "Que saisje?":

- Les radiations nucléaires, par Marc LEFORT  
(Professeur à la Sorbonne)

- Les Rayons X, par Louis ROUGEOT (Agrégé  
des Sciences Physiques - Docteur Es-Sciences)

- Le pétrole, par Etienne DALEMONT.

5 - Collection Sécurité, n° 9:

- Normes fondamentales de Radio-protection.  
Edition 1957.

- Agence Internationale de l'Energie Atomique  
Vienne 1968.

6 - Commissariat à l'Energie Atomique - Centre d'Etudes  
Nucléaires de SACLAY - Service des Radio-Elements -  
Section des Applications des Radio-Eléments -  
Détection des fuites au moyen des radio-éléments.

7 - DADONE R. et DESBRANDES R.

Nature des diagraphies.  
1968. Cours de l'Ecole Supérieure du Pétrole  
et des moteurs.



8 - DESBRANDES R.

Théorie et interprétations des diagraphies.  
Edition technique, 1968.

9 - DEROBERT L.

Intoxication et maladies professionnelles.

10 - DESOILLE H. (Professeur de Médecine du Travail à la Faculté  
de Médecine de Paris)

Cours de Médecine du Travail (Tome III).

11 - FLANDRIN J. et CHAPELLE J.

Le pétrole.  
Edition technique, 1961.

12- Géopétrole

Etude par la S.N. REPAL, n° 122  
Problème du marquage des gaz.

13 - I.N.S. (Institut National de Sécurité) (Novembre 1966)

14 - Journal Officiel de la République Française:

- Textes d'intérêt général
- Protection des travailleurs contre les  
Radiations ionisantes.  
(Décret n° 67.228 du 15 Mars 1967).

15 - Le Laboratoire de Mesure et de Contrôle des Rayonnements  
Ionisants en milieu de Travail.

L.M.C.M.T., n° 30

16 - Les lésions provoquées par les Radiations ionisantes, par:

- A. CASSAGNE
- Ad. DUPONT, P. Van CANEGHAM et J. CIVATTE
- G. MATHE et J. BERNARD
- J.F. DUPLAN
- M. ERRERA



- J. MAISIN et P. MALDAGNE
- M. LAMY et J. FREZAL
- Ch. GOUYGOU

17 - LLIBOUTRY L.

Physique de base pour biologistes, médecins, géologues (S.P.E.N. - P.C.B.)

18 - PERET J. et WUITHIER P.

Pétrole brut et fractions pétrolières  
Edition technique, 1970

19 - Presse Médicale, n° du 15 Janvier 1958.

20 - Protection - Sécurité - Hygiène du Travail

Revue mensuelle de l'Association des Industries de France contre les Accidents du Travail. 44ème année, n° 6, Juin 1964.

21 - RENNE P. (Professeur du Centre National d'Etudes de la Protection Civile - Ingénieur en Génie Atomique - Docteur en Droit)

- L'effort Atomique dans le monde  
Protection Civile et Industrielle, n° 109, Juillet 1963.

22 - Revue du Praticien

- Pathologie du Travail III (Février 1968)

23 - SCHLUMBERGER:

- Réglementation

24 - SIMONIN

- Précis de Médecine du Travail

25 - Travail et Sécurité

- Protection des travailleurs contre les Radiations Ionisantes.  
Août 1968, n° 8



26 - Travail et Sécurité - Janvier 1970, n° 1.

Les Dosimètres photographiques personnels;  
caractéristiques et utilisations.



# TABLE DES MATIERES

## I<sup>o</sup> PARTIE ....

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION .....                                                                             | 1  |
| HISTORIQUE .....                                                                               | 2  |
| GENERALITES SUR LES RAYONNEMENTS IONISANTS .....                                               | 3  |
| I. Nature des différents rayonnements .....                                                    | 3  |
| II. Les Unités de mesure .....                                                                 | 7  |
| III. Les doses admissibles .....                                                               | 8  |
| PRINCIPES PHYSIQUES, BIOLOGIQUES, SOMATIQUES<br>ET GENETIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS ..... | 11 |
| I? Principes physiques .....                                                                   | 11 |
| II. Effets biologiques .....                                                                   | 11 |
| III. Les effets somatiques .....                                                               | 13 |
| IV. Les effets génétiques .....                                                                | 15 |
| DETECTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS .....                                                     | 17 |

## II<sup>o</sup> PARTIE

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| <u>UTILISATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS</u> .....             | 23 |
| I. PRINCIPALES UTILISATIONS DES RAYONNEMENTS<br>IONISANTS ..... | 25 |
| I.1. <u>Dans l'Industrie</u> .....                              | 25 |
| I.2. <u>En Biologie et Biochimie</u> .....                      | 26 |
| I.3. <u>En Médecine</u> .....                                   | 26 |
| I.4. <u>En Agronomie</u> .....                                  | 30 |
| I.5. <u>En Archéologie</u> .....                                | 30 |



|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II. UTILISATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS<br>DANS LES DIVERSES PHASES DE L'INDUSTRIE<br>PETROLIERE ..... | 32 |
| II.1. Recherche du pétrole .....                                                                          | 33 |
| II.1.1. Le gamma-Ray .....                                                                                | 34 |
| II.1.2. Le carottage .....                                                                                | 35 |
| II.1.3. Le rayonnement $\gamma$ secondaire .....                                                          | 35 |
| II.2. Forage .....                                                                                        | 36 |
| II.3. Production .....                                                                                    | 36 |
| II.4. Moyens de transport massif: pipe-lines...<br>Gammagraphie .....                                     | 38 |
| Traceurs et indicateurs radio-actifs.....                                                                 |    |
| II.5. Raffinage .....                                                                                     | 41 |

### III<sup>e</sup> PARTIE:

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DANGERS QUE PRESENTE POUR L'HOMME<br>L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS .....                                     | 42 |
| I. GENERALITES .....                                                                                                   | 43 |
| II. REPARTITION DANS L'ORGANISME DE LA<br>CONTAMINATION ABSORBEE .....                                                 | 45 |
| III. ACTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS<br>sur L'ORGANISME .....                                                        | 47 |
| III.1. Action des Rayonnements ionisants<br>sur les téguments .....                                                    | 47 |
| III.1.1. Erythèmes et radio-dermites<br>précoces .....                                                                 | 47 |
| III.1.2. Radio-dermite tardive .....                                                                                   | 49 |
| III.1.3. Les complications des radio-<br>dermites tardives .....                                                       | 49 |
| III.2. Action des Rayonnements Ionisants<br>sur les cellules normales du sang<br>et les organes hématopoïétiques ..... | 50 |



|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.3. Effets génétiques de l'irradiation .....                                                      | 52 |
| III.4. Action des Rayonnements ionisants<br>sur la gamétogenèse et la glande<br>interstitielle ..... | 55 |
| IV. RISQUES PROFESSIONNELS DUS AUX RAYONNE-<br>MENTS IONISANTS .....                                 | 59 |
| IV.1. Généralités .....                                                                              | 59 |
| IV.2. Lésions professionnelles par<br>irradiations externes .....                                    | 60 |
| IV.3. Lésions professionnelles par<br>irradiations internes .....                                    | 65 |

#### IV<sup>e</sup> PARTIE:

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PROTECTION - SURVEILLANCE MEDICALE .....                                                              | 68 |
| I. LA PROTECTION ENTRE LES RAYONNEMENTS IONISANTS ..                                                  | 69 |
| I.1. Généralités .....                                                                                | 69 |
| I.2. Règles de protection .....                                                                       | 70 |
| I.3. Balisages .....                                                                                  | 72 |
| I.4. Utilisation des moyens propres à<br>assurer la prévention .....                                  | 72 |
| I.5. Le contrôle. Matériel et équipements<br>utilisés pour la radio-protection .....                  | 74 |
| II. LES PRINCIPES DE SURVEILLANCE MEDICALE<br>DU PERSONNEL EXPOSE AUX RAYONNEMENTS<br>IONISANTS ..... | 78 |
| II.1. Examen médical d'embauche .....                                                                 | 78 |
| II.2. Visites médicales après embauche .....                                                          | 80 |
| II.2.1. Evaluation de l'irradiation<br>externe .....                                                  | 82 |
| - Méthodes physiques dosimétriques .....                                                              | 82 |
| - Méthodes spectrométriques ou<br>radiotoxicologiques .....                                           | 85 |
| II.2.2. Evaluation de la contamination .....                                                          | 85 |



|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| II.3. Bilan médical .....                                                       | 89  |
| II.3.1. Examen radiologique du thorax .....                                     | 90  |
| II.3.2. Examens biologiques obligatoires ....                                   | 90  |
| II.3.3. Examens urinaires .....                                                 | 92  |
| II.3.5. Examens complémentaires .....                                           | 93  |
| CONCLUSIONS .....                                                               | 94  |
| ANNEXES .....                                                                   | 99  |
| - CAMPAGNE D'INJECTION DE GAZ TRITIE SUR<br>LE CHAMP D'HASSI MESSAOUD-SUD ..... | 100 |
| - CONSIGNES DONNEES - PRECAUTIONS PRISES                                        |     |
| - TABLEAU N° 6 DES MALADIES PROFESSIONNELLES ...                                | 105 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                                             | 107 |





